

การระบุอัตลักษณ์บุคคลโดยวิธีการถ่ายภาพเส้นเลือดดำที่ฝ่ามือด้วย
กล้องอินฟราเรดย่านใกล้

IDENTIFICATION USING NEAR-INFRARED
VEIN IN PALM IMAGING



จตุรภัทร จิราภาชัยโชค
ธนพรชัย เลิศกิตติมศักดิ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IDENTIFICATION USING NEAR-INFRARED
VEIN IN PALM IMAGING



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การระบุอัตลักษณ์บุคคลโดยวิธีการถ่ายภาพเส้นเลือดดำที่ฝ่ามือด้วย
กล้องอินฟราเรดย่านใกล้

ชื่อนักศึกษา

Identification Using Near-infrared Vein in Palm Imaging

นายจตุรภัทร จิราภัชโชค รหัสนักศึกษา 58051037

นายธนพรชัย เลิศกิตติมศักดิ์ รหัสนักศึกษา 58051072

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

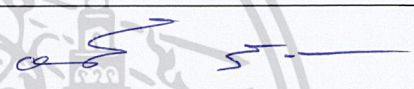
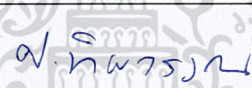
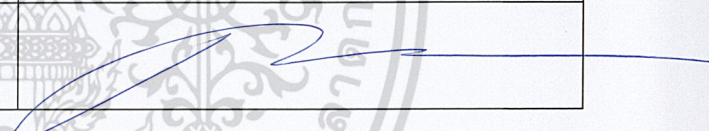
ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา ประธานกรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี กรรมการ	
ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การระบุอัตลักษณ์บุคคลโดยวิธีการถ่ายภาพเส้นเลือดดำที่ฝ่ามือด้วย กล้องอินฟราเรดย่านใกล้
ชื่อนักศึกษา	นายจตุรภัทร จิราภชัยโชค รหัสนักศึกษา 58051037 นายธนพรชัย เลิศกิตติมศักดิ์ รหัสนักศึกษา 58051072
ปริญญา ภาควิชา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ภาณุพล โขลอนกระโทก

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยพิเศษฉบับนี้ศึกษาเรื่องการระบุอัตลักษณ์บุคคลโดยวิธีการถ่ายภาพเส้นเลือดดำที่ฝ่ามือด้วยกล้องอินฟราเรดย่านใกล้ มีจุดประสงค์ศึกษาการพิสูจน์อัตลักษณ์ของบุคคลจากรูปแบบเส้นเลือดดำ มีการนำประโยชน์ของคุณสมบัติการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ของเส้นเลือดแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดย่านใกล้จากแผงไฟอาร์เรย์ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร การใช้งานกล้องอินฟราเรดย่านใกล้ถ่ายภาพเพื่อตรวจหาเส้นเลือดดำที่ฝ่ามือ จากนั้นทำการเปรียบเทียบภาพเส้นเลือดดำระหว่างภาพเส้นเลือดไม่ทราบบุคคลกับภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลผ่านการประมวลผลภาพโดยใช้กระบวนการโครงข่ายประสาทเทียมของโปรแกรม MATLAB การทำโครงการวิจัยพิเศษฉบับนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและความแม่นยำในการพิสูจน์อัตลักษณ์ระหว่างบุคคลสองบุคคลขึ้นไปถึงความแตกต่างกันของรูปแบบเส้นเลือดดำ ผลการทำนายการจำแนกประเภทของภาพ ทำนายจาก 2 วิธี คือวิธีการเพิ่มภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ ได้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 % และความแม่นยำเท่ากับ 100 % มีวิธีนี้ได้ความแม่นยำที่สูง และความคลาดเคลื่อนต่ำ และวิธีการเพิ่มภาพที่ไม่มีในฐานข้อมูลภาพ มีความคลาดเคลื่อน 24 %

คำสำคัญ : การระบุอัตลักษณ์บุคคล หลอดเลือดดำ กล้องอินฟราเรด แสงอินฟราเรดย่านใกล้ โครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Identification Using Near-infrared Vein in Palm Imaging
Students	Mr.Jaturaphat Jirapachaichok StudentID58051037 Mr.Tanapornchai Lertkittimasak Student ID58051072
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Dr.Bhanupol Klongratog

Abstract

This special research project examines the identification of personal identities by means of vein in palm imaging with near infrared cameras. The purpose of this study is to identify the identity of a person from a vein pattern. The benefits of near-infrared (NIR) absorption of the veins are introduced. We therefore use a near-infrared light source from an array of light at a wavelength of 940 nm. And using near infrared cameras (NIR Camera) in photography to detect the veins around the palm. Then comparing the vein images between images that cannot identify the person with images in the database through image processing using the neural network process of the MATLAB program. To do this special research project to study the efficiency and accuracy of identifying identities between two or more individuals to differentiate the vein pattern. Prediction results of image classification predicted from 2 methods; Utilization of images that are available in the image database. The result will be the error of 0% and the accuracy is 100%. This method will get a high accuracy and low error. Another method is to use images that are not in the image database. The error is equal to 24%

Keywords : Identification, Identity, Vein, Infrared Camera, Near infrared light, Neural Network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก ที่มีความเมตตาและกรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ รวมทั้งได้ให้คำชี้แนะแนวทางดำเนินโครงการตั้งแต่ต้นจนจบโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ อนุพงศ์ สรงประภา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี ท่านคณะกรรมการที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และชี้จุดบกพร่องของโครงการ อันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาโครงการต่อไป

ขอขอบคุณอาจารย์ภาคพิสิทธ์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานในการทำโครงการนี้

ขอขอบคุณนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือกับผู้ทำโครงการในการเก็บผลข้อมูลที่ใช้ในโครงการ

ขอขอบคุณภาควิชาพิสิทธ์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ

และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จของโครงการนี้ ซึ่งไม่ได้กล่าวนามไว้ที่ท่าน

จตุรภัทร จิราภาชัยโชค
ธนพรชัย เลิศกิตติมศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่สำคัญ.....	3
2.1.1 แสงอินฟราเรดย่านใกล้ (Near-Infrared, NIR).....	3
2.1.2 กฎการดูดกลืนแสงของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert Law).....	4
2.1.3 ดูดกลืนแสงของเส้นเลือด	7
2.2 ระบบการถ่ายภาพหลอดเลือด	9
2.2.1 โหมดถ่ายภาพ NIR.....	9
2.2.2 โมดูลการถ่ายภาพ.....	10
2.2.3 การออกแบบและการใช้งานโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพ.....	11
2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network : ANN).....	13
2.4 ความแม่นยำและความคลาดเคลื่อน (Accuracy and Error).....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	16
3.1 อุปกรณ์.....	16
3.1.1 กล้อง	12
3.1.2 เลนส์.....	12
3.1.3 ตัวกำเนิดแสงย่าน Near-Infrared.....	17
3.1.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้ารุ่น HLG-120H-12B.....	19
3.1.5 Arduino.....	19
3.1.6 วงจรขับแรงดัน.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.7 กล้องทดลองที่บแสง.....	21
3.1.8 ตัวยืดอาร์เรย์.....	22
3.2 วิธีการดำเนินงาน	23
3.2.1 การสร้างแหล่งกำเนิดแสง.....	23
3.2.2 ขั้นตอนการถ่ายภาพ.....	26
3.2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานประมวลผลภาพ	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	37
4.1 ผลการทดลองแหล่งกำเนิดแสง	37
4.1.1 ผลการควบคุมการปรับกระแสไฟฟ้า.....	37
4.1.2 ผลการควบคุมการปรับระยะอาร์เรย์.....	42
4.2 บันทึกผลการทดลอง.....	44
4.2.1 ผลการถ่ายภาพก่อนการประมวลผลภาพ.....	44
4.2.2 ผลหลังการประมวลผลภาพ.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนดำเนินงาน.....	2
2.1 ส่วนประกอบและฟังก์ชันของโมดูลการส่องสว่างและการถ่ายภาพ.....	9
2.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของทั้งสามโหมด.....	10
2.3 ข้อมูลอุปกรณ์แต่ละส่วนที่ในการสร้างภาพ.....	12
4.1 แสดงผลกระแสไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ารุ่น HLG-120H-12B.....	37
4.2 ผลการทดสอบการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูล.....	48
4.3 ผลการทดสอบการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มภาพที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูล.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสงสเปกตรัมและแสง NIR.....	4
2.2 Photometry	5
2.3 กฎของเบียร์ (Beer's Law).....	6
2.4 กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law)	6
2.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของน้ำและเฮโมโกลบิน	8
2.6 ภาพหลอดเลือดดำที่ได้จากการถ่ายภาพ NIR ที่ 850 nm	8
2.7 โหมดการถ่ายภาพ NIR.....	9
2.8 โครงสร้างของโมดูลการถ่ายภาพ.....	10
2.9 การตอบสนองทางสเปกตรัมของตัวกรอง BPF-850.....	11
2.10 โครงสร้างของระบบการถ่ายภาพ	11
2.11 โครงสร้างระบบประสาท	13
2.12 กระบวนการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม.....	14
2.13 ขั้นตอนการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน.....	15
3.1 กล้อง Infrared รุ่น UI-3240ML.....	16
3.2 เลนส์ที่ใช้กับกล้อง Infrared รุ่น UI-3240M.....	16
3.3 IR-LED ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร	17
3.4 อาร์เรย์ IR-LED.....	17
3.5 วงจรควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ของแหล่งจ่ายไฟฟารุ่น HLG-120H-12B.....	18
3.6 แหล่งจ่ายไฟฟารุ่น HLG-120H-12B	19
3.7 Arduino ที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.8 วงจรขับแรงดัน	20
3.9 แหล่งจ่ายไฟฟารุ่น S-60-12 ใช้จ่ายแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์	20
3.10 กล้องทดลองที่บแสง	21
3.11 บล็อกไดอะแกรมระบบถ่ายภาพ	21
3.12 ตัวยัดอาร์เรย์ 5 ระดับ	22
3.13 แสดงการเดินทางของแสงจากจุดกึ่งกลางอาร์เรย์ถึงจุดกึ่งกลางพื้นกล้องทดลอง	24
3.14 แสดงการป้อนคำสั่ง 0 ที่ Serial Monitor ของ Arduino.....	26
3.15 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 15 เซนติเมตร	28
3.16 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 20 เซนติเมตร	28
3.17 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 25 เซนติเมตร	29
3.18 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 30 เซนติเมตร	29
3.19 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 35 เซนติเมตร	30
3.20 การถ่ายภาพหลอดเลือดดำบนฝ่ามือด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องอินฟราเรด.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 การเช็คภาพว่าเป็นภาพระดับสีเทาหรือ grayscale หรือไม่.....	31
3.22 ทำให้ภาพที่เป็นระดับสีเทานั้นกลายเป็นภาพ Adaptive Threshold	32
3.23 การใส่ mean filter	32
3.24 การใส่ Laplacian filter	33
3.25 การเลือกตำแหน่งที่สนใจบนฝ่ามือ.....	33
3.26 การนำภาพที่ได้จากกระบวนการที่ 6 มากำหนดในฐานะข้อมูลภาพ.....	34
3.27 การกำหนดข้อมูลของภาพ.....	34
3.28 เก็บภาพเข้ามาเป็นภาพในฐานะข้อมูล	35
3.29 เลือกภาพที่ไม่ได้อยู่ในฐานะข้อมูลภาพมาตรวจสอบ	35
3.30 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคาดคะเนของคอมพิวเตอร์.....	36
3.31 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงานประมวลผลภาพ.....	36
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Duty cycle กับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า....	38
4.2 ผลการถ่ายภาพที่ควบคุมการปรับกระแสไฟฟ้า.....	39
4.3 ผลการถ่ายภาพที่ควบคุมการปรับกระแสไฟฟ้า.....	40
4.4 ผลภาพเปรียบเทียบระหว่างการปรับเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 0 % กับ 100 %.....	41
4.5 ผลการถ่ายภาพที่ควบคุมการปรับระยะแนวแกนตั้งของแผงไฟอาร์เรย์.....	42
4.6 ผลภาพเปรียบเทียบระหว่างระยะแนวแกนตั้ง 15 กับ 35 เซนติเมตร ของแผงไฟอาร์เรย์....	43
4.7 ภาพตัวอย่างเส้นเลือดที่ฝ่ามือ	44
4.8 ภาพตัวอย่างการใส่ค่าเกณฑ์การปรับตัว (Adaptive threshold).....	45
4.9 ภาพตัวอย่างการเพิ่มตัวกรองของภาพ (Add Filter).....	45
4.10 ภาพตัวอย่างการเพิ่มความคมชัดของภาพด้วยฟิลเตอร์ Laplacian	46
4.11 ภาพตัวอย่างการเลือกจุดสนใจ	46
4.12 ตัวอย่างผลการทำนายโดยเพิ่มภาพหนึ่งในภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ.....	47
4.13 ตัวอย่างผลการทำนายโดยเพิ่มภาพที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
NIR	แสงอินฟราเรดย่านใกล้ (Near-Infrared)
IR-LED	หลอดไฟแอลอีดีอินฟราเรด
Hb	ฮีโมโกลบิน
OxyHb	ฮีโมโกลบินที่มีออกซิเจน
DeoxyHb	ฮีโมโกลบินที่ไม่มีออกซิเจน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการระบุอัตลักษณ์บุคคลเพื่อใช้ยืนยันตัวตนบุคคล มักมีการใช้ประโยชน์จากการยืนยันตัวตนในงานด้านต่างๆ เช่น งานด้านความปลอดภัย งานด้านนิติวิทยาศาสตร์ เป็นต้น ในการยืนยันตัวตนมีวิธีการดังต่อไปนี้ วิธีที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การพิสูจน์ด้วยตาผู้รู้จัก เอกสารประจำตัว สิ่งของเครื่องใช้ที่ติดตัวอยู่หรือเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มที่ใส่อยู่ ใฝ่ ปาน รอยสัก ความผิดปกติ หรือการผ่าตัดรักษา แต่วิธีการบางอย่างอาจมีความผิดพลาด ยกตัวอย่าง การพิสูจน์ด้วยตาผู้รู้จัก ใบหน้าของบุคคลอาจจะเปลี่ยนแปลง เอกสารประจำตัวมีการปลอมแปลง อีกวิธีในการระบุอัตลักษณ์บุคคลคือวิธีวิทยาศาสตร์ ได้แก่ วิธีลายพิมพ์นิ้วมือเปรียบเทียบกับลายพิมพ์นิ้วมือที่บุคคลเคยพิมพ์ไว้ หรือจากสิ่งของเครื่องใช้ที่บุคคลนั้นเคยสัมผัส วิธีการตรวจสอบสภาพฟัน เป็นวิธีเอกซเรย์รากฟันเปรียบเทียบกับสภาพฟันจากรายงานของทันตแพทย์ เพราะสภาพรากฟันของแต่ละคนต่างกันและรากฟันยังสามารถบอกอายุได้ ทางที่จะทำให้ฟันเปลี่ยนสภาพคือการให้ความร้อนโดยตรงโดยจะต้องมีความร้อน 600 องศาเซลเซียส ขึ้นไป วิธีเปรียบเทียบสารพันธุกรรม การเรียกตัวสารพันธุกรรมในแต่ละเส้นนิวคลีโอไทด์ของแต่ละคนไม่เหมือนกัน การเปรียบเทียบสารพันธุกรรม โดยใช้สารบางอย่างตัดเส้นนิวคลีโอไทด์ออกเป็นท่อน ๆ ส่วนของสารพันธุกรรมที่เรียงตัวเหมือนกันบนเส้นนิวคลีโอไทด์จะถูกตัดออกทำให้ได้เส้นนิวคลีโอไทด์หลายๆเส้นที่มีขนาดต่าง ๆ กัน การเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบกับเส้นนิวคลีโอไทด์ คน ๆ เดียวกันการถูกตัดก็จะถูกตัดที่เดียวกันจำนวนท่อนของสารพันธุกรรมจะได้เหมือนกัน หรือใช้เทคนิคการตรวจหากลุ่มสารพันธุกรรมในส่วนต่างๆของโครโมโซมที่แสดงลักษณะของความซ้ำกันเป็นช่วง ๆ (Short Tandem Repeated) เมื่อสามารถหาจำนวนที่ซ้ำกันของสารพันธุกรรมที่จุดนี้แล้ว ก็สามารถบอกความแตกต่างในแต่ละคนได้ และสามารถใช้ในการพิสูจน์ตัวบุคคลได้เป็นอย่างดี ในการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์ลักษณะของหลอดเลือดดำที่ฝ่ามือ ในแต่ละบุคคลจะมีลักษณะของหลอดเลือดดำที่ปรากฏไม่เหมือนกันและยากที่จะมีการปลอมแปลง การระบุอัตลักษณ์บุคคลในโครงการวิจัยนี้เป็นวิธีการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของภาพหลอดเลือดของบุคคลนั้น ๆ เพื่อเป็นการยืนยันบุคคลแต่ละบุคคล จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายอินฟราเรดย่านใกล้ โดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยอาศัยหลักการโครงข่ายประสาทเทียม [1]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาการระบุอัตลักษณ์บุคคลด้วยเส้นเลือดดำ
- 2) ศึกษาการนำประโยชน์ของคุณสมบัติแสงอินฟราเรดย่านใกล้และการใช้งานกล้องอินฟราเรดเพื่อตรวจหาหลอดเลือดดำ
- 3) ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลข้อมูล
- 4) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจอัตลักษณ์บุคคลของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับแสงอินฟราเรดย่านใกล้
- 2) ศึกษาวิธีต่าง ๆ ในการตรวจสอบอัตลักษณ์บุคคลโดยการวิเคราะห์ลักษณะของหลอดเลือดดำ
- 3) ออกแบบระบบการทดลองให้เป็นระบบปิดไม่มีแสงจากภายนอกเข้ามารบกวน
- 4) ทดลองถ่ายภาพหลอดเลือดดำที่ฝ่ามือและวิเคราะห์ผลภาพ

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

โครงการมีระยะในการจัดทำ รวมทั้งสิ้น 4 เดือน 10 วัน โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 14 มกราคม ถึง 24 พฤษภาคม พ.ศ.2562 ซึ่งมีการดำเนินงานดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลา				
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
1. ค้นคว้าข้อมูล					
2. สร้างระบบตรวจวัด					
3. ทำการทดลอง					
4. แก้ไขข้อบกพร่อง					
5. สรุปผลวิจัยพร้อมทำรูปเล่ม					

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เข้าใจหลักการคุณสมบัติของแสงอินฟราเรดย่านใกล้
- 2) ได้ทราบประสิทธิภาพในการระบุอัตลักษณ์บุคคลของการประมวลผลภาพถ่ายอินฟราเรดย่านใกล้
- 3) ได้นำความรู้ที่ได้รับจากโครงการไปพัฒนาต่อยอดด้านงานที่มีความจำเป็นต้องยืนยันตัวตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่สำคัญ

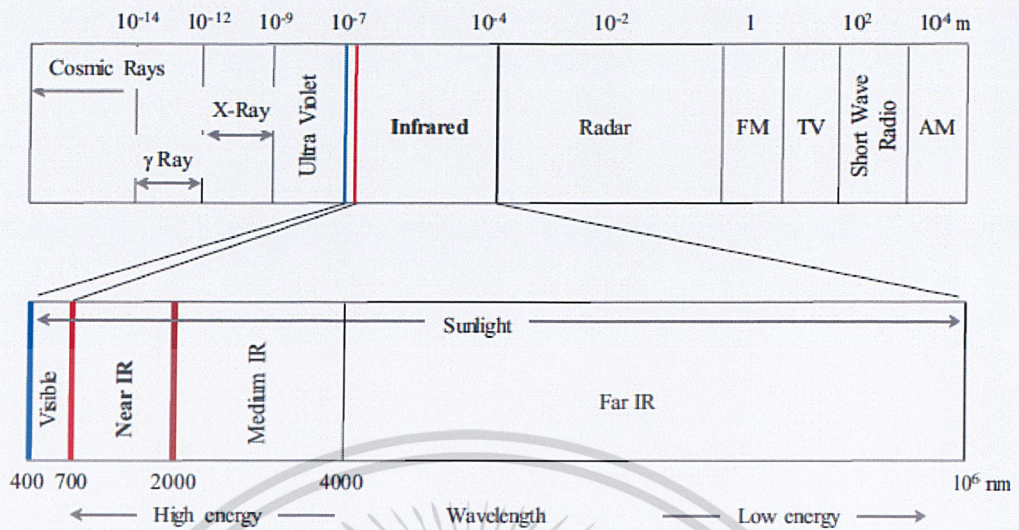
2.1.1 แสงอินฟราเรด (Infrared)

ปกติแสงในธรรมชาติมาจากดวงอาทิตย์เป็นการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องกันเป็นช่วงกว้างเรียกว่าสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า คำนี้มีความหมายรวมทั้งแสงในย่านที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Visible Light) ทำให้เกิดการรับรู้ภาพของวัตถุ แสงที่มองเห็นได้มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400–700 นาโนเมตร และแสงที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ประกอบไปด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่ารังสีเหนือม่วง มีช่วงความยาวคลื่นที่ต่ำกว่าแสงสีม่วงที่อยู่ในแสงย่านการมองเห็นและแสงอินฟราเรด เป็นแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นสูงกว่าแสงสีแดงที่อยู่ในแสงย่านการมองเห็น มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 700 ถึง 10^6 นาโนเมตร รวมถึงรังสีแกมมา รังสีเอกซ์ คลื่นไมโครเวฟและคลื่นวิทยุก็เป็นแสงด้วย [2] [3]

แสงอินฟราเรดหรือรังสีอินฟราเรดนั้นจะมีอีกชื่อเรียกว่ารังสีใต้แดง ซึ่งจะมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700 ถึง 10^6 นาโนเมตร อยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและแสงช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ แสงอินฟราเรดถูกค้นพบโดยวิลเลียม เฮอร์เชล นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษ ค้นพบในปี 1800 ในการทดลองเพื่อวัดความแตกต่างของอุณหภูมิแสงสีต่าง ๆ ในสเปกตรัมแสงที่ตามองเห็นได้ เขาวางเทอร์โมมิเตอร์ในเส้นทางของแสงแต่ละสีของสเปกตรัม พบว่าเทอร์โมมิเตอร์ที่อยู่นอกเหนือจากแสงสีแดงวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแสงสีแดงในสเปกตรัมที่ตามองเห็นได้ [2] [3]

แสงอินฟราเรดจะแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงแรก คือแสงอินฟราเรดย่านไกล (Far-infrared, FIR) มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 4000 ถึง 10^6 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นที่ไกลจากช่วงความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ อยู่ใกล้กับสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นไมโครเวฟ ช่วงที่สองคือแสงอินฟราเรดย่านกลาง (Mid-Infrared, MIR) มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 4000 นาโนเมตร ช่วงที่สามคือแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (Near-Infrared, NIR) มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 700 ถึง 2000 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นที่ใกล้กับแสงสีแดงในสเปกตรัมของแสงที่ตามองเห็นได้ [2] [3] สเปกตรัมแสงในย่านความยาวคลื่นต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสงสเปกตรัมและแสงNIR [4]

โครงการวิจัยเรื่องการระบุอัตลักษณ์บุคคลโดยวิธีการถ่ายภาพเส้นเลือดด้วยกล้องอินฟราเรด ย่านใกล้นี้จะใช้ประโยชน์จากแสงอินฟราเรดย่านใกล้แสงที่ตามองเห็นได้หรือเรียกอีกชื่อว่าแสงอินฟราเรด ย่านใกล้ จากทางชีวฟิสิกส์ระบุว่าประสิทธิภาพการทะลุผ่านของแสง NIR ในเนื้อเยื่อเมื่อเปรียบเทียบกับ แสงย่านอัลตราไวโอเล็ต (UV) ถึงย่านที่ตามองเห็นได้ (Visible) ปรากฏว่าแสง NIR ให้ประสิทธิภาพได้ดีกว่า ปัจจุบันแสง NIR ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายเช่นเครื่องมือสร้างภาพภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ในฐานะที่เป็นวิธีการใหม่ในการจดจำไบโอเมตริกซ์รูปแบบหลอดเลือดดำ เป็นวิธีที่ดึงดูดความสนใจอย่างมากในแวดวงงานวิจัยเมื่อเทียบกับวิธีการตรวจสอบทางชีวภาพที่เป็นที่ยอมรับมากขึ้น เช่นลายนิ้วมือใบหน้าและม่านตารูปแบบหลอดเลือดดำมีความสะดวกและความปลอดภัยที่สูงขึ้น [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 กฎการดูดกลืนแสงของเบียร์และแลมเบิร์ต(Beer-Lambert Law)

เบียร์และแลมเบิร์ตได้ศึกษาคุณสมบัติของคลื่นแสงเมื่อเดินทางผ่านสารละลาย จากวิธีการ Photometry เป็นการวัดความเข้มแสงหลังจากปล่อยให้แสงผ่านสารละลาย โดยวัดความเข้มของแสงก่อนผ่านสารละลาย (แสงที่ตกกระทบ; I_0) และวัดความเข้มของแสงหลังผ่านสารละลาย (แสงที่ส่องผ่าน; I) พบว่าโมเลกุลสารจะดูดกลืนแสงตามสัดส่วนปริมาณโมเลกุลสาร และคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของสารแต่ละชนิดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสาร ปริมาณแสงที่มาถึงเครื่องตรวจจับถูกคำนวณดัง [5] สมการต่อไปนี้ รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวิธีการ Photometry

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.1)$$

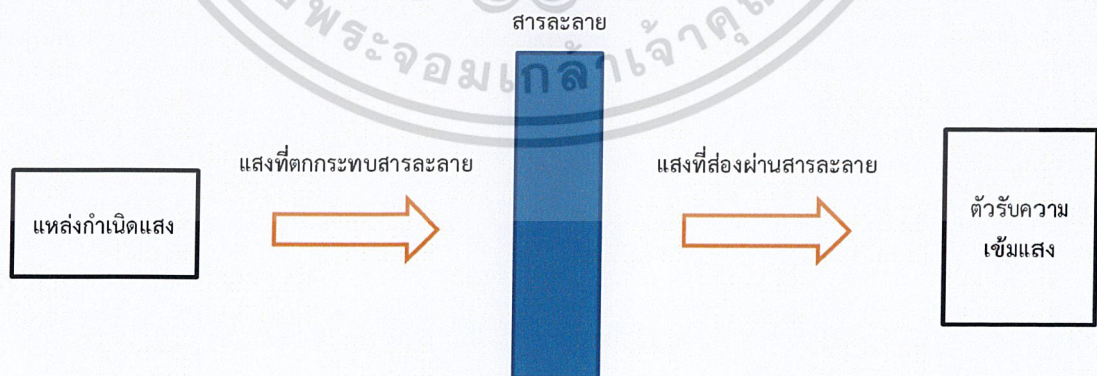
เมื่อค่าการส่องผ่าน (T) จะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ มักเทียบความเข้มแสงก่อนผ่านสารคิดเป็น 100% คือ %Transmittance (% T) จะได้ $\%T = 100T$

ค่าดูดกลืนแสง (A) คือใช้บอกค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$A = -\log_{10} T \quad (2.2)$$

$$A = \log_{10} \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

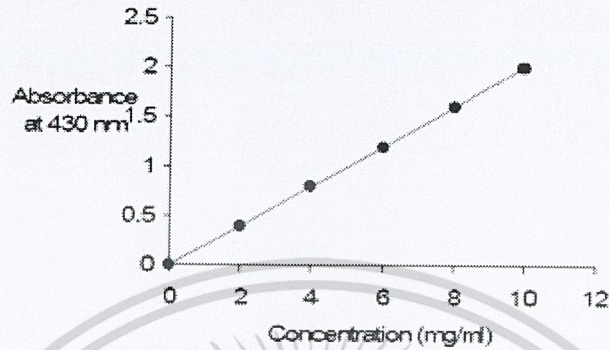
$$A = 2 - \log_{10} \%T \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.2 Photometry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎของเบียร์ (Beer's Law) กล่าวว่า การดูดกลืนแสงของสารจะแปรผันตรงตามความเข้มข้นสาร ความเข้มข้นสารมากขึ้น การดูดกลืนแสงของสารจะมากขึ้นตามและเมื่อความเข้มข้นของสารลดลง การดูดกลืนสารจะลดลง [5] รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารกับการดูดกลืนแสงของสาร

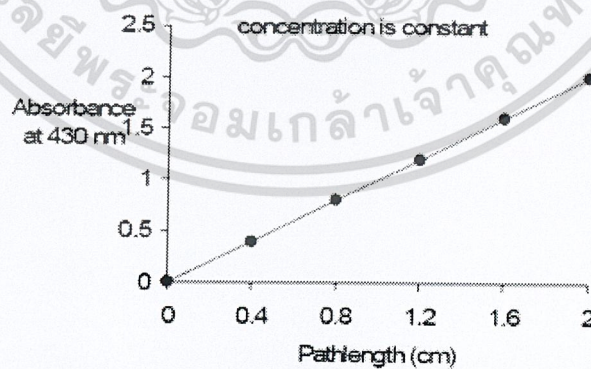


รูปที่ 2.3 กฎของเบียร์ (Beer's Law)

(ที่มา : Dr.Jenny A Koenig Principles of spectrophotometry)

กำหนดให้ความเข้มข้นของสาร = C มีหน่วยเป็น $g\%$ และค่าการดูดกลืนแสง = A

กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) กล่าวว่า การดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงตามระยะความกว้างของสารที่แสงเดินทางผ่าน การดูดกลืนแสงของสารจะมากขึ้นเมื่อแสงผ่านสารที่มีระยะเพิ่มมากขึ้นและ การดูดกลืนแสงของสารจะลดลงเมื่อแสงผ่านสารที่มีระยะแคบลง หรือความเข้มของแสงถูกดูดกลืนไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแต่จะขึ้นอยู่กับความหนาของตัวกลาง [5] รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของสารที่แสงเดินทางผ่านกับการดูดกลืนแสงของสาร กำหนดให้ระยะความกว้างของสารที่แสงเดินทางผ่าน = d



รูปที่ 2.4 กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law)

(ที่มา : Dr.Jenny A Koenig Principles of spectrophotometry)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer and Lambert's law) สามารถเขียนสมการอธิบายความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสง (A) ความเข้มข้นของสาร (C) ระยะความกว้างของสารที่แสงเดินทางผ่าน (d) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (ϵ) ได้ดังนี้ (ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารเป็นโมลาร์) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของสารจะเป็นค่าเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด เช่น molar absorptivity ของ NADH ที่ความยาวคลื่นแสง 340 นาโนเมตร เท่ากับ $6.22 \times 10^3 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ หมายความว่าถ้านำสารละลาย NADH ความเข้มข้น 1 M ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสง 340 นาโนเมตร จะได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ $6.22 \times 10^3 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ [5] รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

$$A = \epsilon dC \quad (2.5)$$

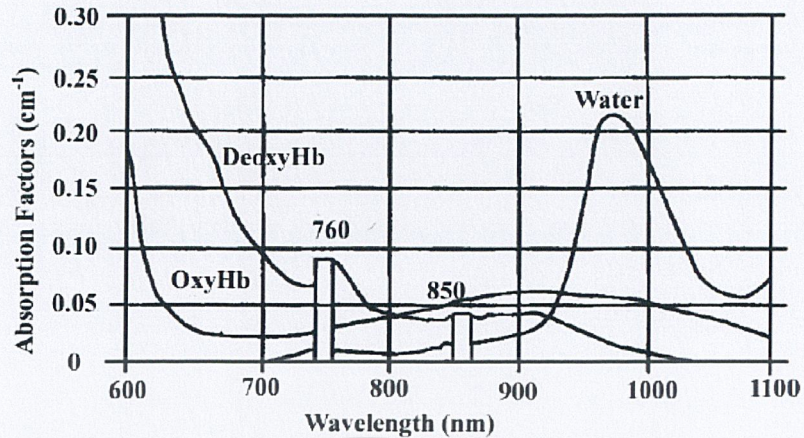
กำหนดให้ ϵ = molar absorptivity หน่วย $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

2.1.3 ดูดกลืนแสงของเส้นเลือด

ในอดีตการรับภาพอินฟราเรดได้รับภาพโดยการรับแสงอินฟราเรดที่แผ่ออกจากร่างกายมนุษย์ซึ่งได้รับผลกระทบหรือการรบกวนจากสภาพแวดล้อมโดยง่าย ปัจจุบันการรับภาพอินฟราเรดได้จากการจับภาพผ่านการทำงานในโหมดการสะท้อนหรือโหมดการส่งผ่านแสงอินฟราเรดที่สร้างขึ้นโดยแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดซึ่งขึ้นอยู่กับ การดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่แตกต่างกันระหว่างเลือดและเนื้อเยื่ออื่น โดยทั่วไปแล้วการถ่ายภาพ NIR นั้นใช้สำหรับการตรวจจับภาพหลอดเลือดดำ [4]

เนื่องจากเนื้อเยื่อหลอดเลือดในมืออยู่เนื้อเดียวกัน แสงจากแหล่งกำเนิดจะถูกส่งผ่าน และสะท้อน กล้อง NIR ใช้สำหรับรับภาพโดยการจับแสง NIR ที่ส่งผ่านมือ และแสงที่สะท้อนกับมือ หลอดดำมีเลือดที่ฮีโมโกลบินมีออกซิเจนต่ำ เลือดที่ฮีโมโกลบินมีออกซิเจนต่ำจะดูดกลืนแสงส่งผมให้มีอัตราการสะท้อนแสงที่ฉายต่ำ ทำให้เกิดภาพของลายเส้นเลือดดำ งานวิจัยระบุว่าแสงที่มีความยาวคลื่น 700 - 800 นาโนเมตร สามารถผ่านผิวหนังได้และแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 800 นาโนเมตร สามารถเดินทางผ่านน้ำได้ง่ายซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของร่างกายมนุษย์ อย่างไรก็ตามฮีโมโกลบินซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของเลือดดูดซับแสงอินฟราเรดต่างจากน้ำ [4] สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของน้ำและฮีโมโกลบินแสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของน้ำและฮีโมโกลบิน [4]

ดังที่เห็นได้จากกราฟข้างต้นฮีโมโกลบิน (Hb) รวมทั้งฮีโมโกลบินที่มีออกซิเจน (OxyHb) และฮีโมโกลบินที่ไม่มีออกซิเจน (DeoxyHb) มีการดูดกลืนสูงสุดระหว่าง 700 นาโนเมตร ถึง 900 นาโนเมตร (DeoxyHb ดูดกลืนสูงสุดในช่วง 760 นาโนเมตร และ 850 นาโนเมตร และ OxyHb ดูดกลืนสูงสุดในช่วง 900 นาโนเมตร) และปัจจัยการดูดกลืนของมันจะสูงกว่าน้ำในช่วงก่อน 900 นาโนเมตร เมื่อพิจารณาว่าหลอดเลือดที่มี DeoxyHb มากกว่า OxyHb คือในเลือดหลอดเลือดดำ สามารถใช้แหล่งอินฟราเรด 760 นาโนเมตร หรือ 850 นาโนเมตร แม้ว่าตัวประกอบการดูดซับของ DeoxyHb จะสูงกว่าที่ 760 นาโนเมตร มากกว่าที่ 850 นาโนเมตร แต่แหล่งกำเนิดแสง NIR 760 นาโนเมตร มีราคาที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับราคา NIR-LED 850 นาโนเมตร ดังนั้นแหล่งกำเนิดแสง NIR 850 นาโนเมตร ถูกเลือกสำหรับใช้จับภาพหลอดเลือดดำ ในรูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายภาพ NIR มือซ้ายและขวาของบุคคลการใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็น LED ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร [4]



รูปที่ 2.6 ภาพหลอดเลือดดำที่ได้จากการถ่ายภาพ NIR ที่ 850nm [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบการถ่ายภาพหลอดเลือด

อุปกรณ์เก็บข้อมูลรูปแบบหลอดเลือดดำเข็มแรกถูก ในปี 2000 ซึ่งเป็นโปรเซสเซอร์ DSP ที่มีราคาสูงซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานแบบ floating-point และตัวประมวลผลแบบตลอดเวลา [4] อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยโมดูลไฟส่องสว่างและโมดูลการถ่ายภาพส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 2.1

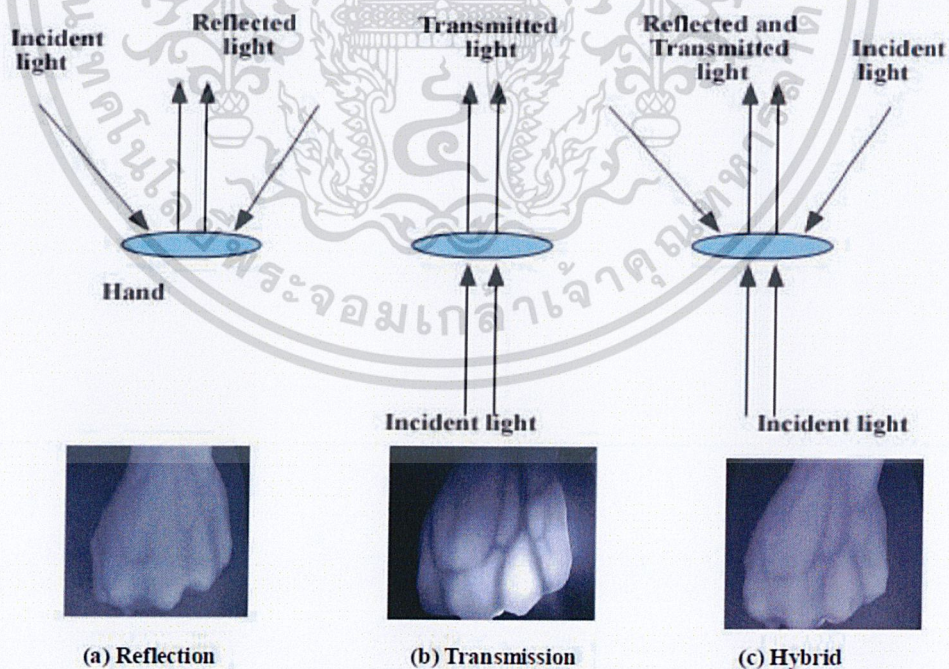
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและฟังก์ชันของโมดูลการส่องสว่างและการถ่ายภาพ

โมดูล	ส่วนประกอบ	ฟังก์ชัน
ไฟส่องสว่าง	ชุด Near-Infrared (NIR) ไดโอดเปล่งแสง (LED)	ปรับปรุงรูปแบบหลอดเลือดดำ โดยแสงอินฟราเรดย่านใกล้
การถ่ายภาพ	กล้อง, เลนส์, ตัวกรองแสง, การ์ดจับภาพ	จับภาพและบันทึกภาพมือหลอดเลือดดำ

มีการสร้างฐานข้อมูลซึ่งมีภาพมือหลอดเลือดดำจำนวน 2,040 ภาพจากบุคคล 102 คน (หญิง 52 คนและชาย 50 คน) ถูกสร้างขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ดังกล่าว รายละเอียดและการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลอื่นๆ จะกล่าวถึงในส่วนนี้ด้วย [4]

2.2.1 โหมดถ่ายภาพ NIR

การถ่ายภาพ NIR มีสามโหมด คือแสงส่องผ่าน โหมดแสงสะท้อนและโหมดไฮบริด(ดำเนินการในโหมดการส่องผ่านและสะท้อนพร้อมกัน) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โหมดการถ่ายภาพ NIR [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

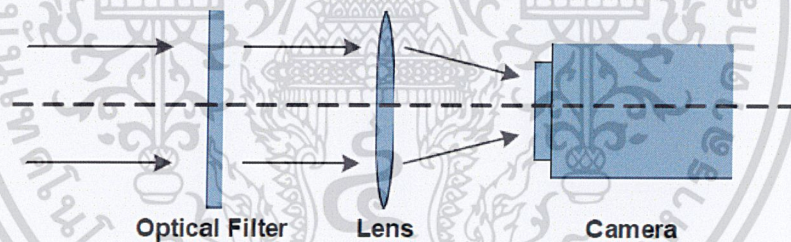
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของทั้งสามโหมด

โหมดการทำงาน	ข้อดี	ข้อเสีย
โหมดแสงสะท้อน	ความคมชัดสูงหลังจากปรับให้เหมาะสม ราคาถูก พลังงานต่ำ	ต้องการสำหรับแหล่ง NIR และ ส่วนประกอบที่มีคุณภาพสูง
โหมดแสงส่องผ่าน	ความคมชัดสูง	ความสม่ำเสมอในภาพน้อย มีความแตกต่างมาก
โหมดไฮบริด (ทำงานในโหมดแสงสะท้อน และแสงส่องผ่านพร้อมกัน)	คำจำกัดความที่สูงขึ้น และความคมชัดกว่าภาพที่ได้จาก โหมดแสงสะท้อน	ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง

โหมดการสะท้อนถูกเลือกสำหรับการนำไปใช้เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมน้อยมาก นอกจากนี้คุณภาพของภาพก็ดีพอที่จะมองเห็นเส้นเลือดในมือและสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการเพิ่มความเข้มของแสงและการครอบคลุมรวมถึงการประมวลผลภาพ [4]

2.2.2 โมดูลการถ่ายภาพ

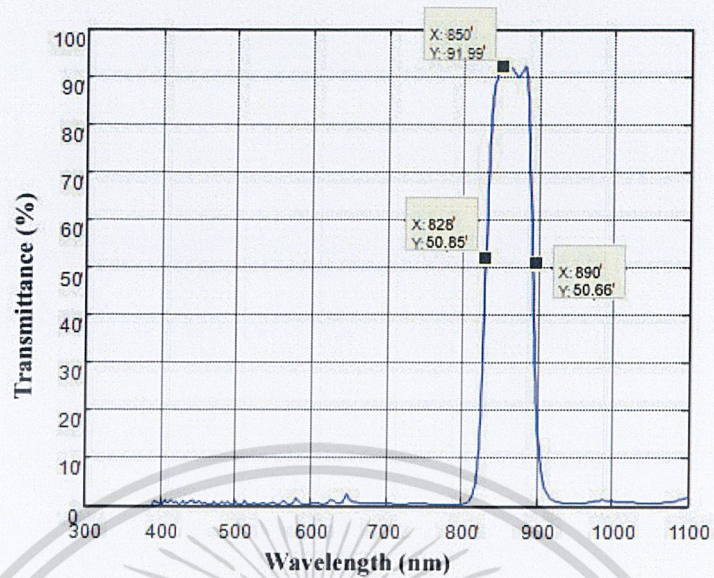
โมดูลการถ่ายภาพประกอบด้วยเลนส์และตัวกรองแสงเพื่อควบคุมแสงตกกระทบเพื่อควบคุมคุณภาพของภาพเพื่อสร้างภาพ โดยการจับแสงผ่านเลนส์และตัวกรองแสง [4] โครงสร้างของโมดูลภาพแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของโมดูลการถ่ายภาพ [4]

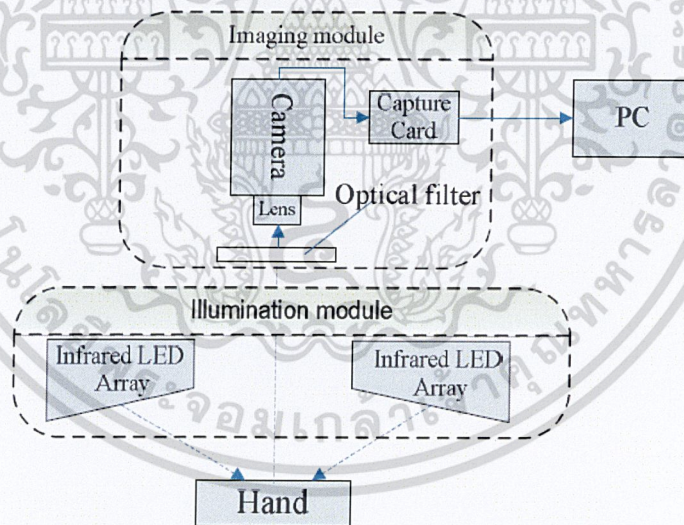
ตัวกรองแสงอินฟราเรดแบ่งออกเป็นตัวกรองตัดแสงอินฟราเรดที่ไม่ให้สัญญาณบางช่วงผ่าน และตัวกรองอินฟราเรดที่ให้สัญญาณผ่านบางช่วง เมื่อพิจารณาถึงหลักการถ่ายภาพ NIR และค่าใช้จ่ายของตัวกรอง ตัวกรองแสงอินฟราเรดที่ให้สัญญาณผ่านบางช่วงถูกเลือกเป็นตัวกรองแสงที่ใช้ในระบบถ่ายภาพ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.9 BPF-850 เป็นตัวกรองแสงให้ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรส่งผ่านที่ 850 นาโนเมตรค่าการส่งผ่านจะเป็น 91.99% [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การตอบสนองทางสเปกตรัมของตัวกรอง BPF-850 [4]

2.2.3 การออกแบบและการใช้งานโครงสร้างของอุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพ



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของระบบการถ่ายภาพ [4]

แสง NIR ที่มาจากอาร์เรย์ LED อินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรสะท้อนถึงเซ็นเซอร์ CCD ของกล้องผ่านตัวกรองอินฟราเรดและเลนส์เพื่อสร้างภาพหลอดเลือดดำมือ

เพื่อลดการรบกวนของแสงในย่านที่ตามองเห็นได้กล้องที่มีพลาสติกฉีดยึดพันสีได้ออกแบบมาเพื่อปกปิดกล้องเลนส์และแหล่งกำเนิดแสง LED อินฟราเรด [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

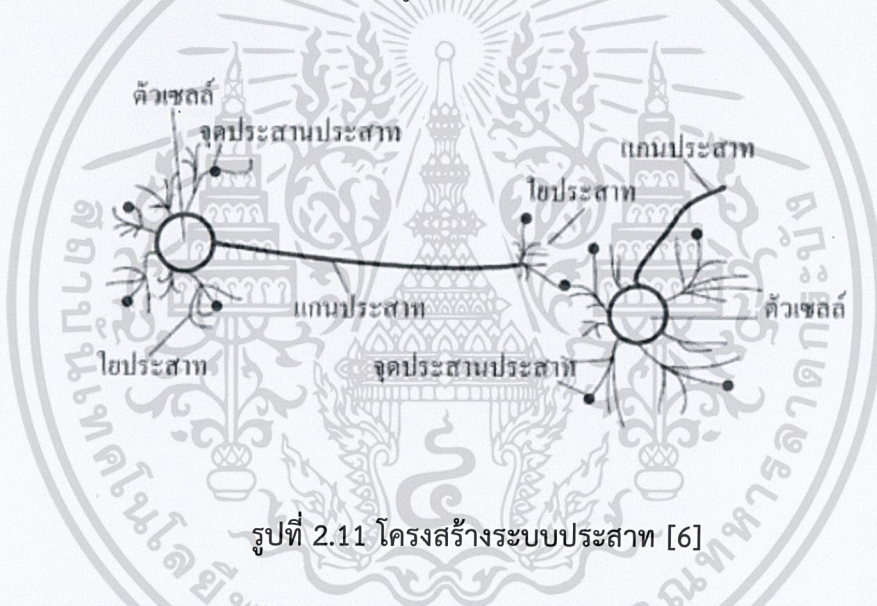
โมดูล	ส่วนประกอบ	พารามิเตอร์
ตัวส่องสว่าง	2 อาร์เรย์ LED ไกลอินฟราเรด (โหมตการสะท้อน)	ขนาด: \varnothing 8 มิลลิเมตร ประเภท LED: LED กลม พลังงาน: 1.5 V \times 200 mA ความยาวคลื่น: 850 นาโนเมตร ขนาดอาร์เรย์: 3 \times 3 ระยะแสง: 100 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่าง LED 2 อาร์เรย์: 56 มิลลิเมตร (ที่สองด้านของกล้อง CCD)
การถ่ายภาพ	กล้อง: WATEC 902B CCD (1/2')	ขนาด : 35.5 \times 36 \times 58 มิลลิเมตร ระบบสแกน: 2 : 1 interlace ความละเอียด: 570 TVL พิกเซลที่ใช้งานจริง: 752 \times 582 ขนาดเซลล์หน่วย 8.6 \times 8.3 ไมโครเมตร S / N: 50 เดซิเบล พลังงาน: DC12 โวลต์ \times 160 มิลลิแอมแปร์ ไฟส่องสว่างขั้นต่ำ: 0.003 Lux F1.2
	เลนส์: Pentax H1214-M (KP) (1/2')	ขนาด: \varnothing 34.0 \times 43.5 มิลลิเมตร ทางยาวโฟกัส: 12 มิลลิเมตร รูรับแสงสัมพันธ์: F1.4 FOV (D / H / V, มิลลิเมตร): (102.3 ~ 47.6 / 81.3 ~ 38.2 / 60.4 ~ 28.7)
	ตัวกรองแสง: 850 นาโนเมตร	ขนาด: \varnothing 30.0 \times 3 มม. Half-main-lobe width: 60 \pm 10 นาโนเมตร การส่งผ่าน: 91.99%
	การ์ดจับภาพ: Mine V2860 USB	ขนาด: 103 \times 60 \times 19 มิลลิเมตร พอร์ตอินเตอร์เฟซ: USB 2.0 มาตรฐาน: PAL, NTSC ความละเอียด: 720 \times 576 การปรับแบบไดนามิก

เพื่อลดการรบกวนของแสงในย่านที่ตามองเห็นได้กล้องที่มีพลาสติกฉีดพ่นสีดำออกแบบมาเพื่อปกปิดกล้องเลนส์และแหล่งกำเนิดแสง LED อินฟราเรด [4]
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network : ANN)

มีโครงสร้าง และการทำงานในการประมวลผลเหมือนกับสมองของมนุษย์ โดยอาศัยหลักการทำงานของสมองมนุษย์โดยสมองมนุษย์ ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนตัวเองต่อการตอบสนองของข้อมูลที่เข้ามา หลังจากที่ได้เรียนรู้สิ่งที่ต้องการแล้ว โครงข่ายจะสามารถทำงานได้ตามที่กำหนดไว้ โดยสมองมนุษย์ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลเรียกว่าเซลล์ประสาท (neuron) เซลล์ประสาทในสมองมีการเชื่อมต่อกันอย่างมากมาย จึงกล่าวได้ว่าสมองมนุษย์เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีการปรับตัวเอง ไม่เป็นเชิงเส้น และทำงานแบบขนานในการดูแลจัดการการทำงานร่วมกันของเซลล์ประสาทในสมอง การคำนวณเชิงโครงข่ายเป็นการคำนวณที่เลียนแบบมาจากการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์ [6]

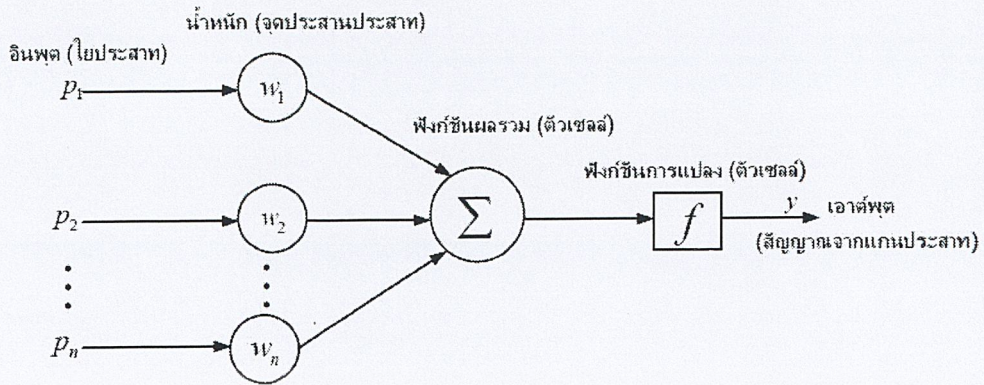
ภายในสมองประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวนมาก และมีการเชื่อมต่อโครงข่ายประสาท ประกอบขึ้นด้วย 3 ส่วนส่วนสำคัญคือ โยประสาท ตัวเซลล์ และแกนประสาท ในแต่ละโครงข่ายประสาทจะเชื่อมต่อกันโดยจุดประสานประสาท ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ตามสัญญาณที่ส่งระหว่างกันของเซลล์ประสาท [6] ภาพโครงสร้างประสาทแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างระบบประสาท [6]

การประมวลผลต่าง ๆ เกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อยเรียกว่าโหนด (node) การทำงานของโหนดจำลองจากลักษณะการทำงานของเซลล์การส่งสัญญาณ ระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกันจำลองมาจากการเชื่อมต่อของโยประสาท และแกนประสาทในสมองของมนุษย์ ภายในโหนดจะทำงานเป็นฟังก์ชันการแปลง (transfer function) กำหนดสัญญาณส่งออก [6] ซึ่งทำหน้าที่เสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กระบวนการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม [6]

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 5 องค์ประกอบดังนี้

1. ข้อมูลอินพุต (input) เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลข หากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ ต้องแปลงให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณที่โครงข่ายประสาทเทียมยอมรับได้
2. ข้อมูลเอาต์พุต (output) คือ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงจากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
3. ค่าน้ำหนัก (weights) คือ สิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าความรู้ (knowledge) ค่านี้จะถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการจดจำข้อมูลอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน
4. ฟังก์ชันผลรวม (Summation function: S) เป็นผลรวมของข้อมูลป้อนเข้า (p_i) และค่าน้ำหนัก (w_i)

$$S = \sum_{i=1}^n p_i w_i \quad (2.6)$$

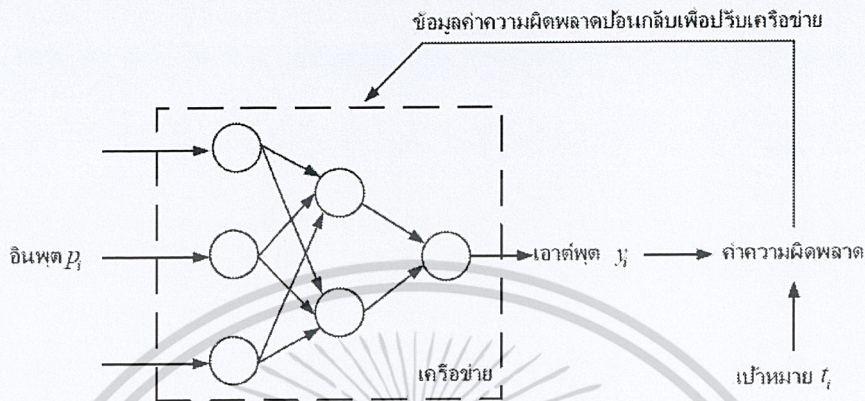
5. ฟังก์ชันการแปลง (transfer function) ฟังก์ชันการแปลง เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รวมค่าเชิงตัวเลขจากเอาต์พุตของนิวรอน แล้วทำการตัดสินใจว่าจะส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปในรูปใด ฟังก์ชันการแปลงสามารถเป็นได้ทั้งแบบเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น การเลือกใช้ฟังก์ชันการแปลงจะขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบ ที่นำเอาโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้ [6] ฟังก์ชันการแปลงมีอยู่หลายรูปแบบ แบบที่ใช้งานทั่วไปมีรายละเอียดตามตารางที่ 2.4

การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (learning with supervisor) จะมีการนำเสนอกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง (examples หรือ training set) ให้กับโครงข่ายในรูปของอินพุตพร้อมกับเป้าหมาย (target) ที่ต้องการให้โครงข่ายตอบสนอง พิจารณาคู่อินพุตและเป้าหมายดังนี้

$$\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_1\}, \dots, \{p_Q, t_Q\} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออินพุตถูกป้อนให้กับระบบ เอาต์พุตของโครงข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเป้าหมายของอินพุต แล้วโครงข่ายจะทำการปรับค่าน้ำหนักประสาท และไบอัสตามกฎการเรียนรู้ เพื่อให้เอาต์พุตของโครงข่าย ให้ค่าผลลัพธ์ใกล้เคียงเป้าหมายมากที่สุด [6] ขั้นตอนการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอนแสดงในรูปแบบที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน [7]

กล่าวได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียม คือการจำลองสถานะการณ์ผ่านโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ ให้คอมพิวเตอร์ รู้จักคิด และจดจำ โดยการป้อนข้อมูลอินพุตและเอาต์พุต ผลที่ออกมาจะใกล้เคียงกับเป้าหมายหรือไม่ขึ้นอยู่กับข้อมูลอินพุตที่ใช้ในการฝึกสอน การเลือกจำนวนโหนด และจำนวนชั้นของโครงข่ายที่เหมาะสมกับข้อมูลนั้น [6]

2.4 ความแม่นยำและความคลาดเคลื่อน (Accuracy and Error)

ความแม่นยำ (Accuracy) คือค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถ ในการอ่านค่าหรือการแสดงค่าของเครื่องมือวัด ที่สามารถวัดได้เข้าใกล้ค่าจริง และความคลาดเคลื่อน (Error) คือผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้ ($x_{measure}$) กับค่าที่แท้จริง (x_{true}) โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ถ้าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมาก แสดงว่าการวัดนั้นมีความแม่นยำสูง [7] การคำนวณค่าความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ โดย %Accuracy คือเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการวัด และ %Error คือเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการวัด

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \quad (2.8)$$

$$\%Error = \left| \frac{x_{measure} - x_{true}}{x_{true}} \right| \times 100\% \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 กล้อง Near-Infrared รุ่น UI-3240ML

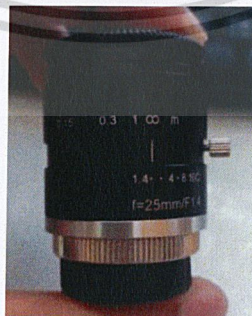
เป็นกล้องอุตสาหกรรมที่มีประสิทธิภาพสูงโดยมีเซ็นเซอร์ CMOS 1.3 ล้าน ความละเอียด 1280 × 1024 พิกเซล พื้นที่รับแสง 6.784 มิลลิเมตร × 5.427 มิลลิเมตร ขนาดพิกเซล 5.30 ไมโครเมตร เป็นกล้อง CCD คุณภาพที่โดดเด่นด้านความไวแสง เซ็นเซอร์มีความยืดหยุ่นสูงหากต้องการใช้ในสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.1 กล้อง Near-Infrared รุ่น UI-3240ML

3.1.2 เลนส์

เลนส์ที่มาจับตัวกล้อง เลนส์สามารถปรับรูรับแสงและโฟกัสได้ รูรับแสง $f = 25$ มิลลิเมตร ระยะกัสน์ $F = 1.4$ เมตร

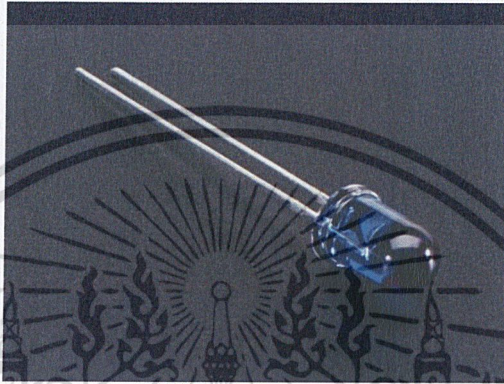


รูปที่ 3.2 เลนส์ที่ใช้กับกล้อง Infrared รุ่น UI-3240ML

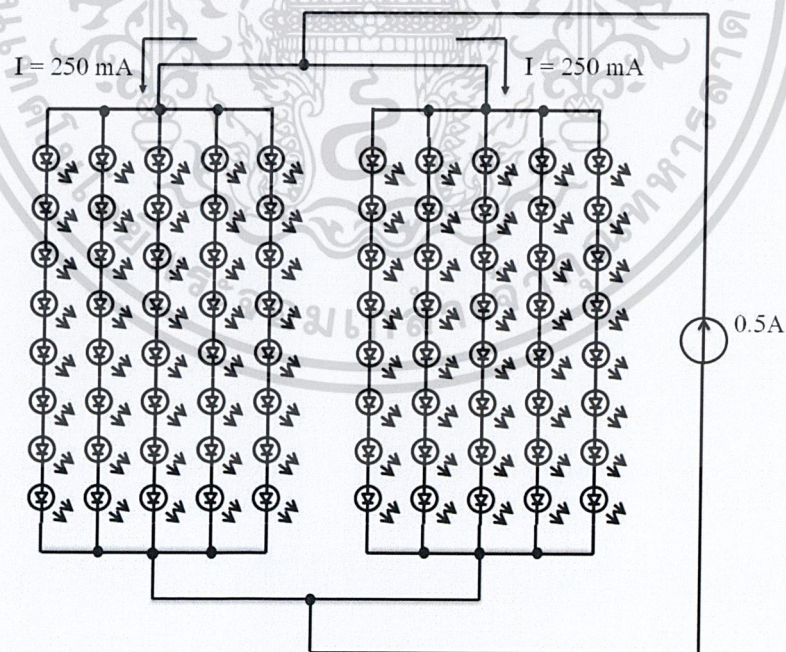
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ตัวกำเนิดแสงย่าน Near-Infrared

ใช้เป็นอาร์เรย์ IR-LED จำนวน 3 แผง สร้างจากหลอดไฟ IR-LED แรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงสุด 1.6 โวลต์ กระแสไฟฟ้าในการทำงาน 100 มิลลิแอมแปร์ ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร มาต่อเรียงหลอดไฟ IR-LED เป็นอาร์เรย์ขนาด $8 \times 10 = 80$ ดวง บนบอร์ดโซลิดสเตต โดยต่อหลอดไฟ IR-LED ในวงจรแบบอนุกรม 8 หลอด และต่อวงจรแบบขนาน 10 แถว ใช้ทั้งหมด 3 อาร์เรย์



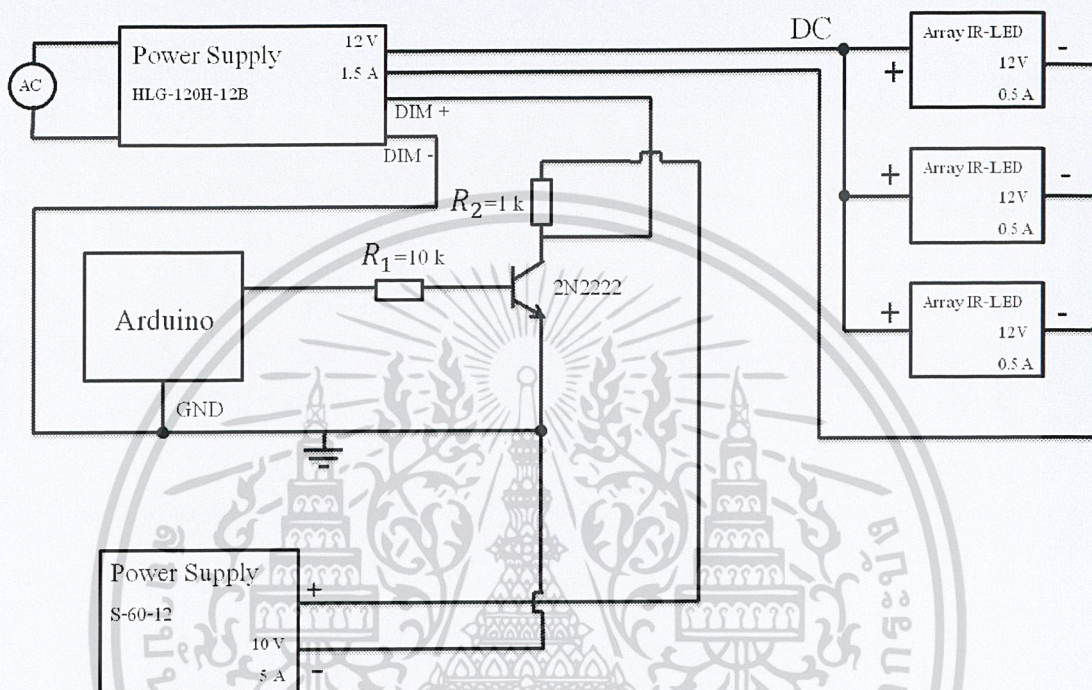
รูปที่ 3.3 IR-LED ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร



รูปที่ 3.4 อาร์เรย์ IR-LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 กระแสไฟฟ้าคงที่ที่จ่ายให้แก่อาร์เรย์จะถูกจ่ายด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ารุ่น HGL-120H-12B ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็น Pulse Width Modulation โดย Arduino รูปที่ 3.5 แสดงวงจรควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้อาร์เรย์เท่ากับ 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้อาร์เรย์แต่ละตัวเท่ากับ 0.5 แอมแปร์ รวมทั้งหมด 3 อาร์เรย์ เท่ากับกระแสแสงไฟฟ้า 1.5 แอมแปร์



รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ารุ่น HLG-120H-12B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้า

แหล่งจ่ายไฟฟ้ารุ่น HLG-120H-12B เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสคงที่ที่สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าผ่านการสั่งงานเป็นคำสั่ง Pulse Width Modulation กระแสไฟฟ้าขาออกสูงสุด 10 แอมแปร์



รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ารุ่น HLG-120H-12B

3.1.5 Arduino

ใช้เป็นอุปกรณ์เพื่อเขียนคำสั่งควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ส่งคำสั่งเป็น Pulse Width Modulation 8 บิต เท่ากับ 0-255 แรงดันไฟฟ้าขาออก 0 ถึง 5 โวลต์

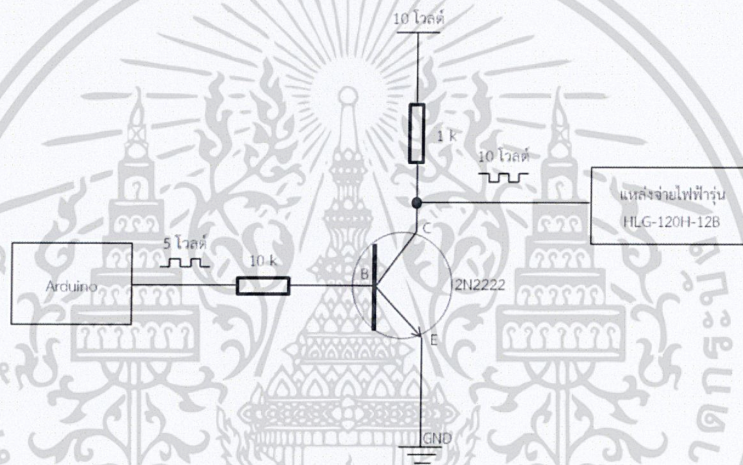


รูปที่ 3.7 Arduino ที่ใช้ในการทดลอง

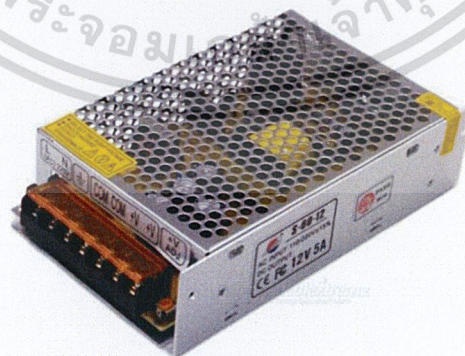
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 วงจรขับแรงดัน

เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟารุ่น HLG-120H-12B ต้องการข้อมูลที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 0 ถึง 10 โวลต์ แต่ข้อมูลที่ออกมาจาก Arduino ให้ข้อมูลที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าเพียง 0 ถึง 5 โวลต์ จึงจำเป็นต้องมีการใช้วงจรขับแรงดันเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าถึง 10 โวลต์ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ 2N2222 (N-Type) แหล่งจ่ายไฟฟารุ่น รุ่น S-60-12 เป็นอุปกรณ์จ่ายแรงดันไฟเลี้ยงให้แก่วงจรขนาด 10 โวลต์ และตัวต้านทานขนาด 1 กิโลโอห์ม กับ 10 กิโลโอห์ม รูปที่ 3.8 แสดงวงจรถูกขับแรงดันที่ใช้ในวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ แหล่งจ่ายไฟฟารุ่น S-60-12 แรงดันไฟฟ้าขาออก 12 โวลต์ แต่สามารถปรับให้มีแรงดันไฟฟ้าขาออก 10 โวลต์ โดยการปรับตัวต้านทานที่ตัวแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าขาออก 5 แอมแปร์ ดังแสดงรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 วงจรขับแรงดัน

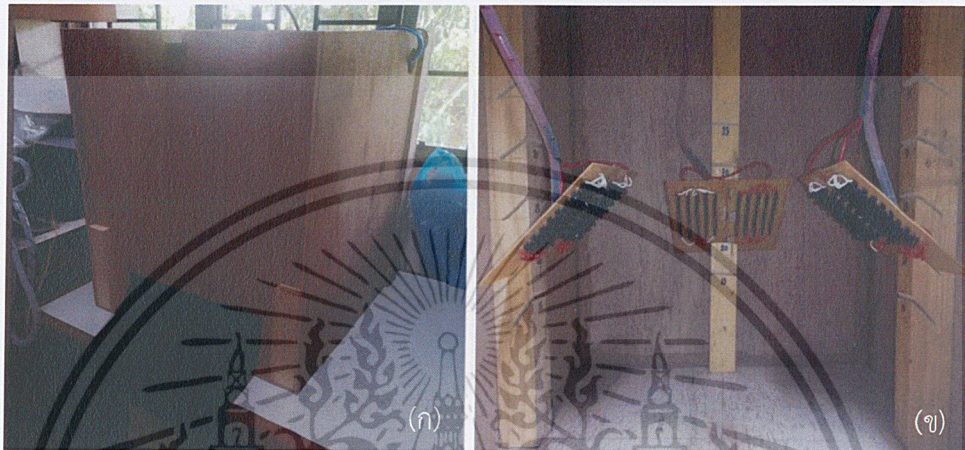


รูปที่ 3.9 แหล่งจ่ายไฟฟารุ่น S-60-12 ใช้จ่ายแรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

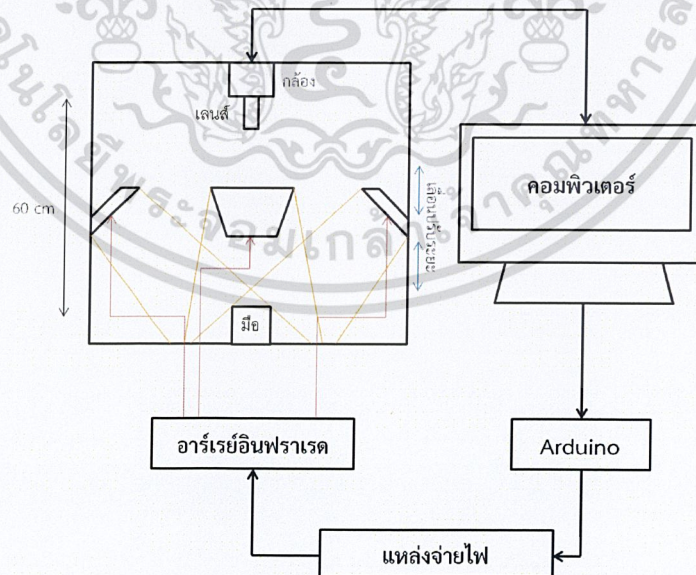
3.1.7 กล่องทดลองทึบแสง

เนื่องจากความต้องการที่ให้มึแสงแค่ความยาวคลื่นเพียงค่าเดียวคือ 940 นาโนเมตร ในการทดลอง เพื่อให้การทดลองไม่มีความยาวคลื่นแสงความยาวคลื่นอื่นเข้ามารบกวนในระบบแสดงดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบถ่ายภาพ ถ่ายภาพในโหมดแสงสะท้อน



รูปที่ 3.10 กล่องทดลองทึบแสง (ด้านนอกกล่อง)

(ก) คือด้านนอกกล่อง และ (ข) คือด้านในของกล่อง

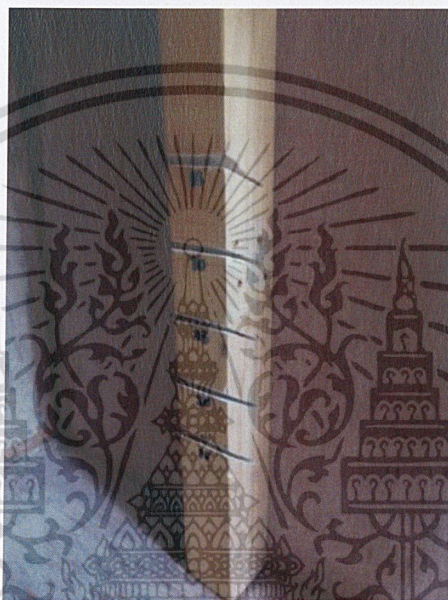


รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมระบบถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 ตัวยึดแผงไฟ

ที่ยึดอาร์เรย์ถูกออกแบบมาให้มีระดับในแนวแกนตั้ง 5 ระดับ วัดระดับความสูงจากพื้นกล่องทดลองที่บัสแสง ระดับที่ 1 (ระดับต่ำที่สุด) มีความสูงในแนวแกนตั้ง 15 เซนติเมตร ระดับที่ 2 มีความสูงในแนวแกนตั้ง 20 เซนติเมตร ระดับที่ 3 มีความสูงในแนวแกนตั้ง 25 เซนติเมตร ระดับที่ 4 มีความสูงในแนวแกนตั้ง 30 เซนติเมตร ระดับที่ 5 (ระดับสูงที่สุด) มีความสูงในแนวแกนตั้ง 35 เซนติเมตร รูปที่ 3.12 แสดงภาพตัวอย่างตัวยึดอาร์เรย์



รูปที่ 3.12 ตัวยึดอาร์เรย์ 5 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินงาน

3.2.1 การสร้างแหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองเป็นอาร์เรย์ สร้างโดยนำหลอดไฟ IR-LED ต่อบรรจุแบบอนุกรม 8 หลอด และต่อบรรจุแบบขนาน 10 แถว บนบอร์ดโซลิดา กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดที่อาร์เรย์ต้องการถูกคำนวณจากการนำความรู้กฎของโอห์ม และทฤษฎีไฟฟ้ากระแสตรงในเรื่องของวงจรอนุกรมและวงจรขนาน ดังแสดงในการคำนวณดังต่อไปนี้

1. ส่วนของวงจรอนุกรม

วงจรอนุกรมค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่ไหลผ่าน IR-LED ทุกคนในวงจรจะมีค่าเท่ากัน

$$I = 50 \text{ มิลลิแอมป์}$$

$$V = 1.5 \text{ โวลต์} \times 8 \text{ ดวง} = 12 \text{ โวลต์}$$

2. ส่วนของวงจรขนาน

วงจรขนานค่าแรงดันไฟฟ้า (V) รวมทั้งวงจรขนานจะมีค่าเท่ากัน

$$V = 12 \text{ โวลต์}$$

$$I = 50 \text{ มิลลิแอมป์} \times 10 \text{ แถว} = 0.5 \text{ แอมป์}$$

ในระบบการถ่ายภาพใช้แผงไฟอาร์เรย์ทั้งหมดจำนวน 3 แผง โดยนำแผงไฟทั้ง 3 แผงมาต่อกันเป็นวงจรแบบขนาน จึงสรุปกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าทั้งหมดที่ทำให้แผงไฟอาร์เรย์เกิดการ ทำงาน ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

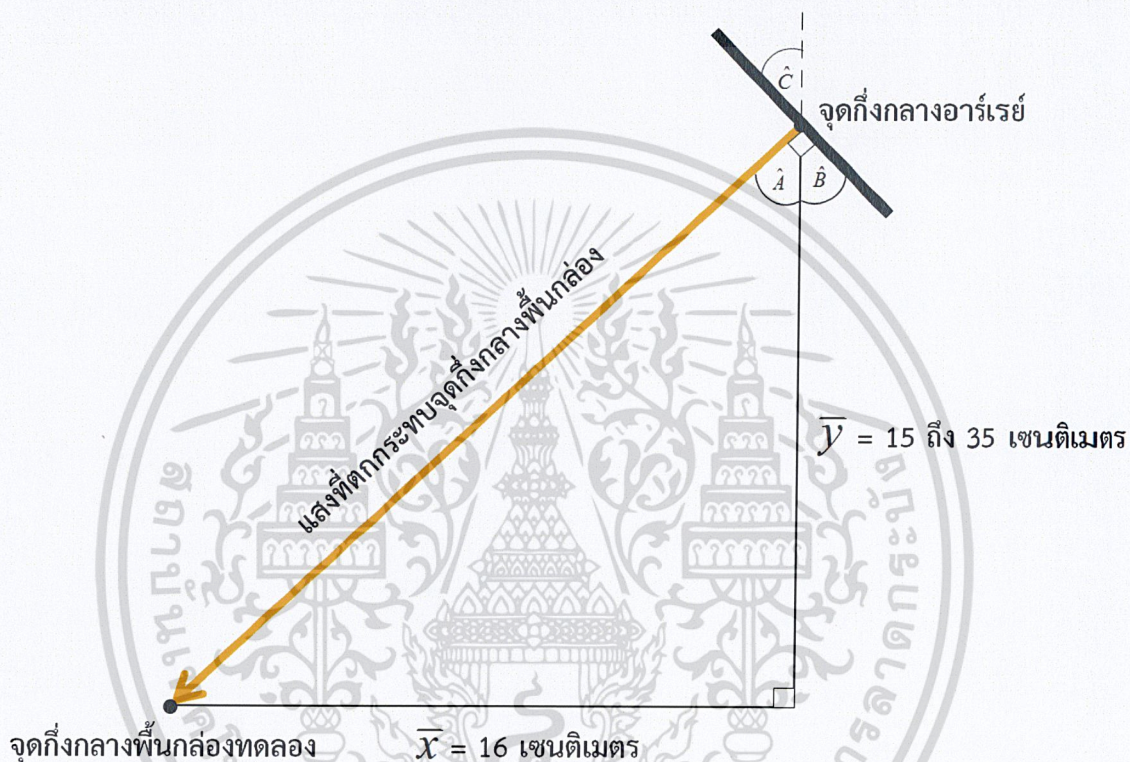
$$V = 12 \text{ โวลต์}$$

$$I = 0.5 \text{ แอมป์} \times 3 \text{ อาร์เรย์} = 1.5 \text{ แอมป์}$$

อาร์เรย์ที่ใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเท่ากับ 1.5 แอมป์ และแรงดันไฟฟ้าตกรวมรวมทั้งวงจรเท่ากับ 12 โวลต์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายของหลอด IR-LED ในอาร์เรย์เนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากเกินไป มีความจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ได้และสามารถให้แรงดันไฟฟ้าได้ตรงตามที่อาร์เรย์ต้องการ แหล่งกำเนิดไฟฟ้ารุ่นที่ผู้ดำเนินโครงการวิจัยพิเศษใช้คือรุ่น HLG-120H-12B คุมการทำงานโดยใช้ Arduino การจ่ายกระแสของแหล่งจ่ายไฟฟ้า รุ่น HLG-120H-12B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากต้องการให้แสงจากจุดกึ่งกลางอาร์เรย์ตกกระทบบที่จุดกึ่งกลางพื้นกล่องทดลอง จึงต้องพิจารณาจากความยาวในแนวแกนนอน (วัดจากจุดกึ่งกลางอาร์เรย์ในแนวนอนถึงจุดกึ่งกลางพื้นกล่องทดลอง) 16 เซนติเมตร และความยาวในแนวแกนตั้ง 5 ระดับ (วัดจากจุดกึ่งกลางอาร์เรย์ถึงพื้นกล่องทดลอง) 15 ถึง 35 เซนติเมตร รูปที่ 3.13 แสดงการเดินทางของแสงจากจุดกึ่งกลางอาร์เรย์ถึงจุดกึ่งกลางพื้นกล่องทดลอง



รูปที่ 3.13 แสดงการเดินทางของแสงจากจุดกึ่งกลางอาร์เรย์ถึงจุดกึ่งกลางพื้นกล่องทดลอง

เมื่อความยาวในแนวแกนตั้งมีค่าเปลี่ยนไปตามระดับ มุมเอียงของอาร์เรย์มุม \hat{C} (พิจารณาจากแผ่นอาร์เรย์ทำมุมกับแนวแกนตั้ง) จึงมีค่าเปลี่ยนตามความยาวในแนวแกนตั้งที่เปลี่ยนไป สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณมุมเอียงของอาร์เรย์มุม \hat{C} ของแต่ละความยาวในแนวแกนตั้ง โดยกำหนดให้ความยาวในแนวแกนนอนคือ \bar{x} มีค่าเท่ากับ 16 เซนติเมตร และความยาวในแนวแกนตั้ง 5 ระดับเท่ากับ \bar{y} มีหน่วยเป็น เซนติเมตร แสดงได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างความยาวในแนวแกนตั้ง $\bar{y} = 15$ เซนติเมตร

$$\tan \hat{A} = \frac{\bar{x}}{\bar{y}} = \frac{16}{15} = 1.067$$

$$\hat{A} = \tan^{-1}(1.067)$$

$$\hat{A} = 46.8^\circ$$

$$\hat{B} = 90^\circ - \hat{A} = 90^\circ - 46.8^\circ$$

$$\hat{B} = 43.2^\circ$$

เนื่องจากมุม \hat{B} ทำมุมทแยงกับมุม \hat{C} จึงได้ \hat{B} เท่ากับ \hat{C}

$$\hat{C} = 43.2^\circ$$

สรุปผลการคำนวณมุมเอียงของอาร์เรย์มุม \hat{C} (พิจารณาจากแผ่นอาร์เรย์ทำมุมกับแนวแกนตั้ง) ได้ดังต่อไปนี้

ความยาวในแนวแกนตั้ง $\bar{y} = 15$ เซนติเมตร จะได้มุม \hat{C} เท่ากับ 43.2°

ความยาวในแนวแกนตั้ง $\bar{y} = 20$ เซนติเมตร จะได้มุม \hat{C} เท่ากับ 51.4°

ความยาวในแนวแกนตั้ง $\bar{y} = 25$ เซนติเมตร จะได้มุม \hat{C} เท่ากับ 57.4°

ความยาวในแนวแกนตั้ง $\bar{y} = 30$ เซนติเมตร จะได้มุม \hat{C} เท่ากับ 62.0°

ความยาวในแนวแกนตั้ง $\bar{y} = 35$ เซนติเมตร จะได้มุม \hat{C} เท่ากับ 65.5°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการถ่ายภาพ

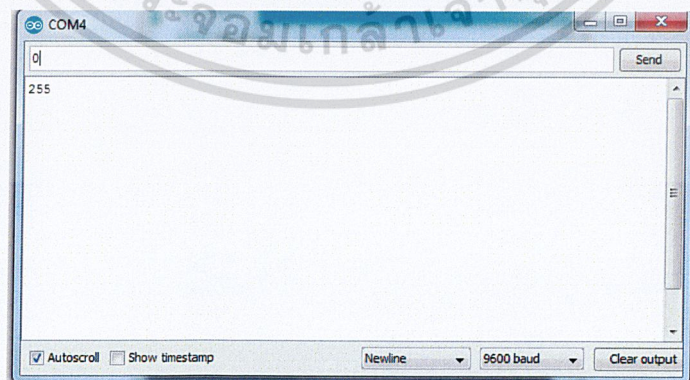
ขั้นตอนการทดลองการถ่ายภาพโดยมีการควบคุมตัวแปร 2 ตัวแปร คือควบคุมโดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่ส่งเข้าอาร์เรย์ และควบคุมโดยการปรับระยะแนวแกนตั้งของอาร์เรย์ มีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. การควบคุมจากการปรับกระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าที่ส่งเข้าอาร์เรย์ถูกควบคุมโดยการป้อน Pulse Width Modulation โดย 8 บิต เท่ากับ 0-255 จาก Arduino สู่อะไหล่จ่ายไฟฟารุ่น HLG-120H-12B โดยการป้อนพัลส์บิตจะถูกควบคุมโดยการให้คำสั่งเป็นเปอร์เซ็นต์ Duty cycle โดย 0 % เท่ากับน้ำหนักบิต 0 และ 100 % เท่ากับน้ำหนักบิต 255 เมื่อคำสั่ง 0 ถูกส่งเข้าแหล่งจ่ายไฟฟารุ่น HLG-120H-12B กระแสไฟฟ้าคงที่ขาออกที่ได้จะเท่ากับ 0 แอมแปร์ และคำสั่ง 255 ถูกส่งเข้าแหล่งจ่ายไฟฟารุ่น HLG-120H-12B กระแสไฟฟ้าขาออกที่ได้จะเท่ากับ 10 แอมแปร์ แต่เนื่องจาก Arduino ให้ข้อมูลที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าเพียง 0 ถึง 5 โวลต์ จึงจำเป็นต้องมีการใช้วงจรขับแรงดันเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าถึง 0 ถึง 10 โวลต์ ตามที่แหล่งจ่ายไฟฟารุ่น HLG-120H-12B ต้องการ ที่เอาท์พุทของวงจรน้ำหนักบิต 0-255 จะเป็นอินเวอร์ทกัน จึงจำเป็นต้องเขียนคำสั่งที่ Arduino ให้เปอร์เซ็นต์ Duty cycle 0 % เท่ากับน้ำหนักบิต 255 และเปอร์เซ็นต์ Duty cycle 100 % เท่ากับน้ำหนักบิต 0

ในการทดลองผู้ทดลองเขียนคำสั่งที่ Arduino ให้เปอร์เซ็นต์ Duty cycle 0 % เท่ากับน้ำหนักบิต 255 และเปอร์เซ็นต์ Duty cycle 100 % เท่ากับน้ำหนักบิต 225 จะได้ที่น้ำหนักบิต 255 กระแสไฟฟ้าคงที่ขาออกของแหล่งจ่ายไฟฟารุ่น HLG-120H-12B เท่ากับ 0 แอมแปร์ และที่น้ำหนักบิต 225 จะได้กระแสไฟฟ้าคงที่ขาออกของแหล่งจ่ายไฟฟารุ่น HLG-120H-12B เท่ากับ 1.5 แอมแปร์

1.1 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 0 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML แสดงตัวอย่างการป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงการป้อนคำสั่ง 0 ที่ Serial Monitor ของ Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 10 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

1.3 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 20 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

1.4 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 30 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

1.5 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 40 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

1.6 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 50 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

1.7 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 60 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

1.8 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 70 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

1.9 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 80 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

1.10 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 90 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

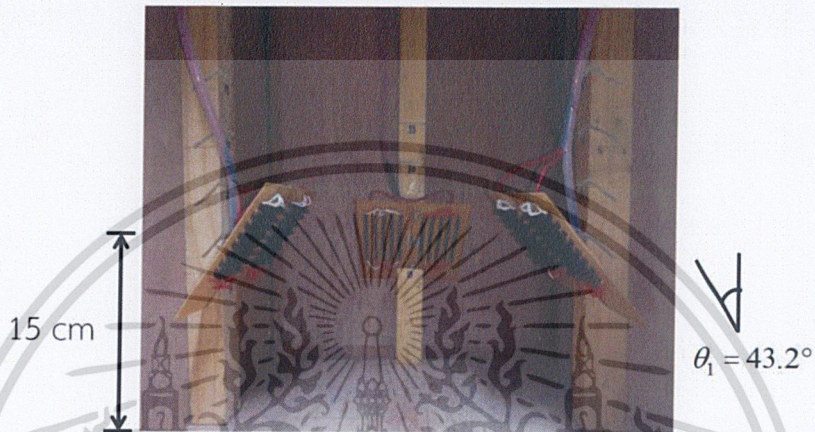
1.11 ป้อนคำสั่งที่ Serial Monitor ของ Arduino เท่ากับ 100 ใช้ Mutimeter วัดกระแสไฟฟ้าที่ Output ของ Power Supply และทำการถ่ายรูปฝามือด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การควบคุมจากการปรับระยะอาร์เรย์

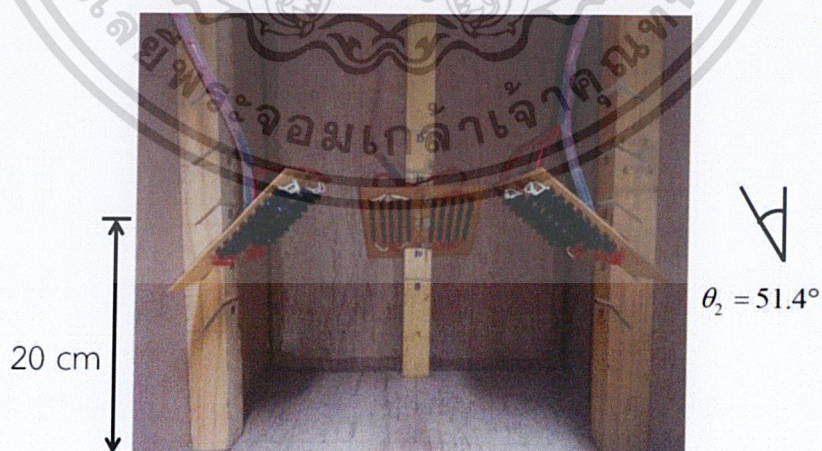
การทดลองการควบคุมจากการปรับระยะอาร์เรย์มีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

2.1 นำอาร์เรย์ยึดกับที่ยึดอาร์เรย์ที่ระยะ 15 เซนติเมตร ถ่ายรูปฝ่ามือด้วยกล้องอินฟราเรด รุ่น UI-3240ML ตัวอย่างระดับอาร์เรย์ที่ระยะ 15 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 15 เซนติเมตร

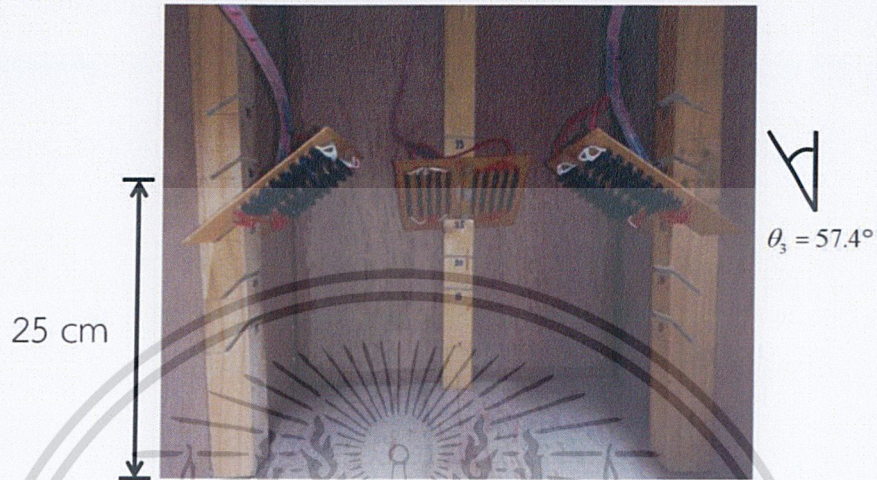
2.2 นำอาร์เรย์ยึดกับที่ยึดแผงไฟที่ระยะ 20 เซนติเมตร ถ่ายรูปฝ่ามือด้วยกล้องอินฟราเรด รุ่น UI-3240ML ตัวอย่างระดับอาร์เรย์ที่ระยะ 20 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 20 เซนติเมตร

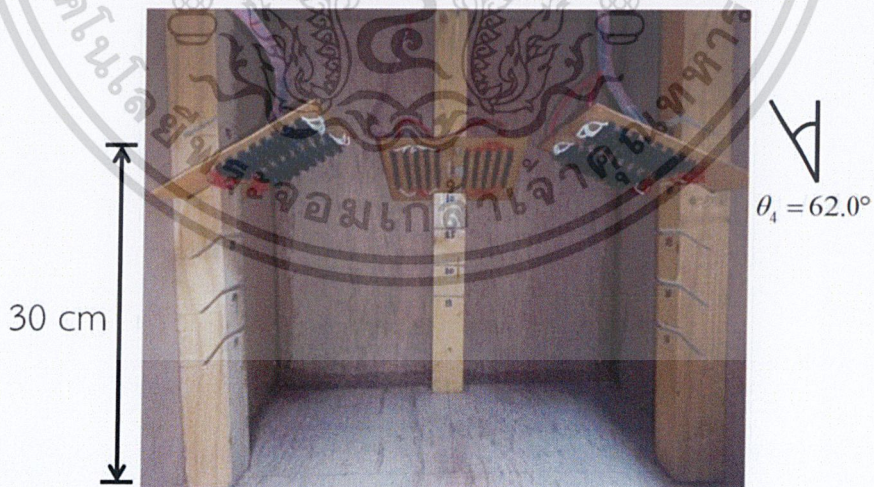
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 นำอาร์เรย์ยึดกับที่ยึดแผงไฟที่ระยะ 25 เซนติเมตร ถ่ายรูปฝ่ามือด้วยกล้องอินฟราเรด รุ่น UI-3240ML ตัวอย่างระดับอาร์เรย์ที่ระยะ 25 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 25 เซนติเมตร

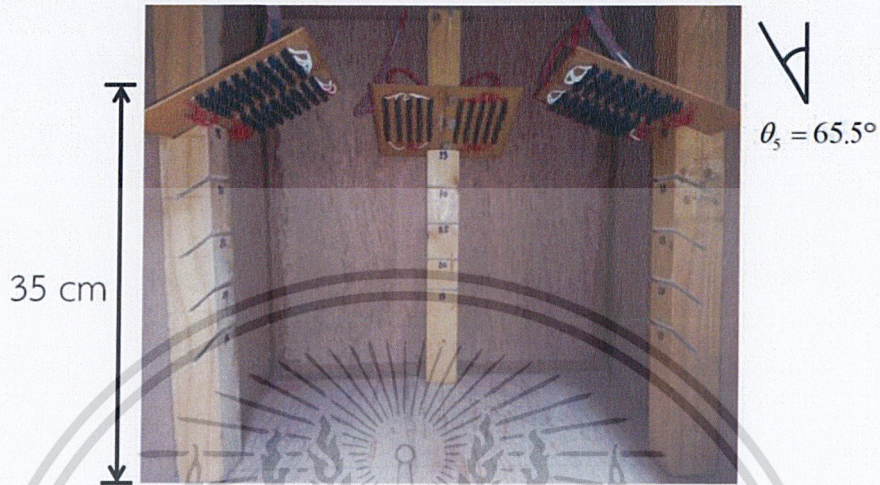
2.4 นำอาร์เรย์ยึดกับที่ยึดแผงไฟที่ระยะ 30 เซนติเมตร ถ่ายรูปฝ่ามือด้วยกล้องอินฟราเรด รุ่น UI-3240ML ตัวอย่างระดับอาร์เรย์ที่ระยะ 30 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 30 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 นำอาร์เรย์ยึดกับที่ยึดแผงไฟที่ระยะ 35 เซนติเมตร ถ่ายรูปฝ่ามือด้วยกล้องอินฟราเรด รุ่น UI-3240ML ตัวอย่างระดับอาร์เรย์ที่ระยะ 35 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.19

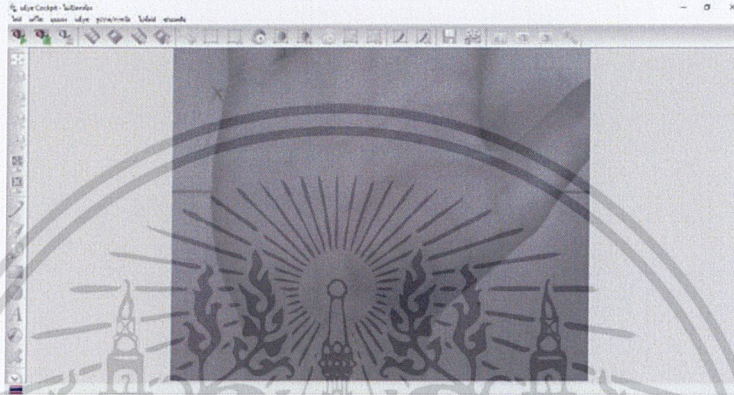


รูปที่ 3.19 อาร์เรย์ในแนวแกนตั้งที่ระยะ 35 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

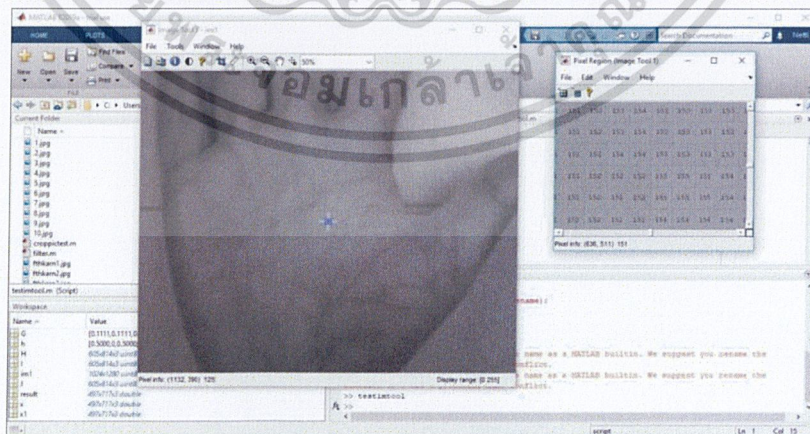
3.2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานประมวลผลภาพ

1. การถ่ายภาพหลอดเลือดดำบนฝ่ามือด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องอินฟราเรด (Vein image at palm capture with infrared camera) กำหนดเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 100 % และระยะในแนวแกนตั้งของอาร์เรย์ 15 เซนติเมตร ถ่ายภาพฝ่ามือเป็นกลุ่มตัวอย่าง 5 คน คนละ 50 ภาพ ตัวอย่างการถ่ายภาพหลอดเลือดดำบนฝ่ามือด้วยกล้องอินฟราเรดแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การถ่ายภาพหลอดเลือดดำบนฝ่ามือด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องอินฟราเรด

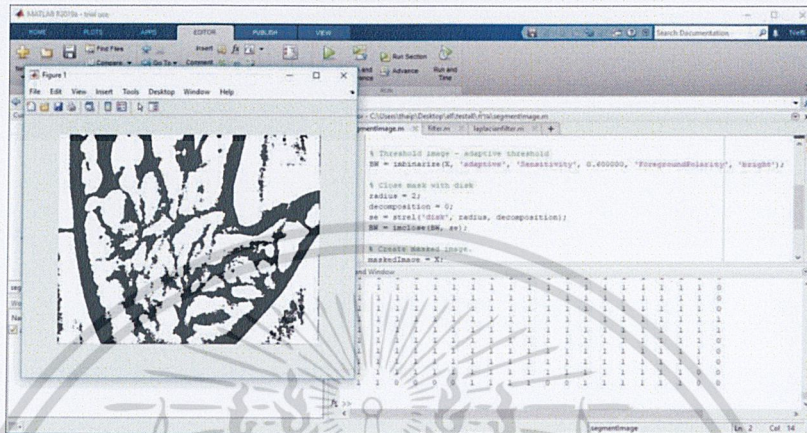
2. นำภาพที่ได้นั้นเข้าไปในโปรแกรม MATLAB แล้วทำการเช็คภาพว่าเป็นภาพระดับสีเทาหรือ Grayscale หรือไม่ ถ้าเป็นระดับสีเทานั้นค่าพิกเซลแต่ละตำแหน่งของภาพจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 255 ตัวอย่างการเช็คภาพภาพระดับสีเทาหรือ Grayscale แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การเช็คภาพว่าเป็นภาพระดับสีเทาหรือ grayscale หรือไม่

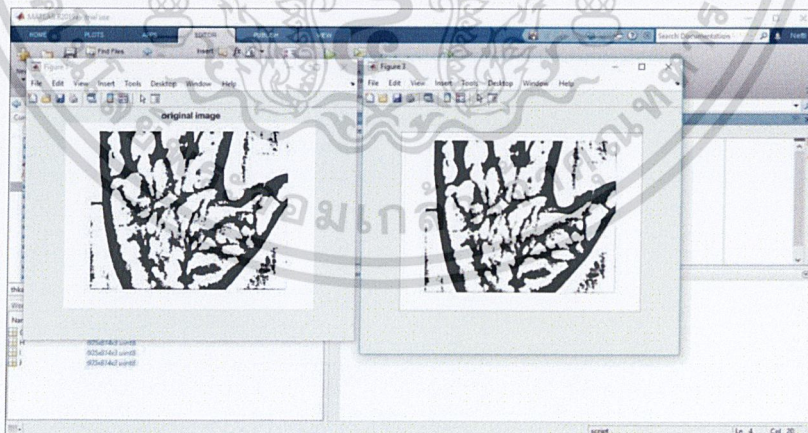
เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาหรือสิทธิบัตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำให้ภาพที่เป็นระดับสีเทานั้นกลายเป็นภาพ Adaptive Threshold ที่มีค่าเท่ากับ 0.6 และค่า Close เท่ากับ 2 จะทำให้ภาพนั้นสามารถเห็นหลอดเลือดดำบนฝ่ามือได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ตัวอย่างการ Adaptive Threshold แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ทำให้ภาพที่เป็นระดับสีเทานั้นกลายเป็นภาพ Adaptive Threshold

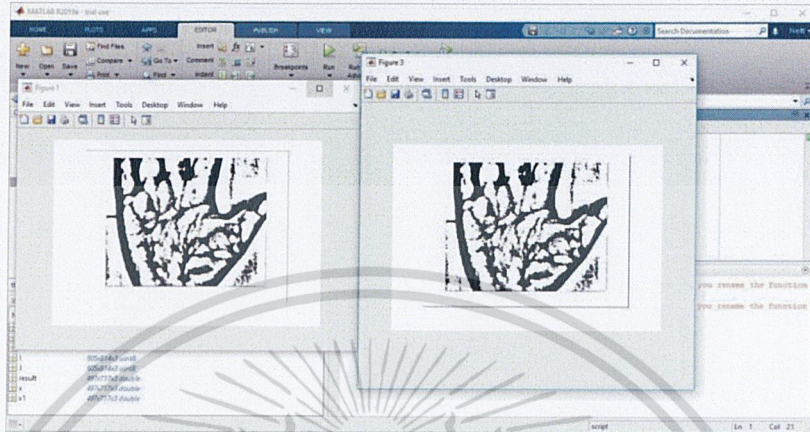
4. ทำการใส่ Mean filter เพื่อลดสัญญาณรบกวนของภาพให้น้อยลง แต่ภาพที่ได้นั้นมีการเบลอจึงทำการปรับในขั้นตอนต่อไป ตัวอย่างการใส่ Mean filter แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การใส่ mean filter

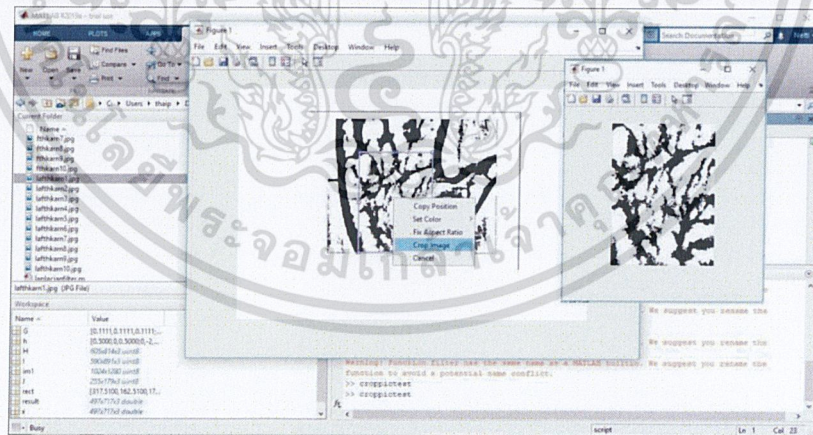
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการใส่ Laplacian filter เพื่อปรับภาพที่เบลอนั้นให้กลับมาคมชัดมากขึ้น ตัวอย่างการใส่ Laplacian filter แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 การใส่ Laplacian filter

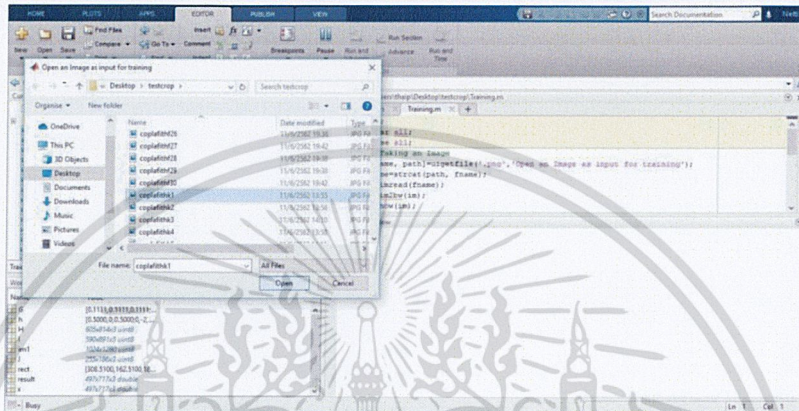
6. ทำการเลือกตำแหน่งที่สนใจบนฝ่ามือ ตัวอย่างการเลือกตำแหน่งที่สนใจบนฝ่ามือแสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 การเลือกตำแหน่งที่สนใจบนฝ่ามือ

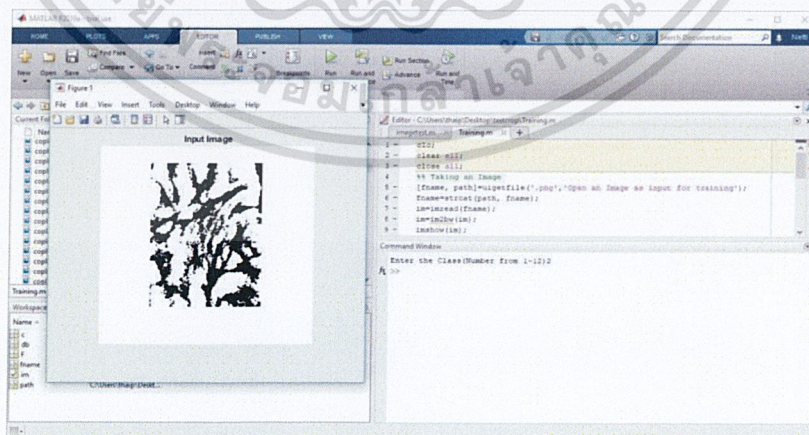
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำภาพที่ได้จากกระบวนการข้างต้นมากำหนดข้อมูลในฐานข้อมูลภาพของแต่ละบุคคลโดยใช้กระบวนการ Training โดยการเลือกภาพที่ต้องการที่จะนำมาเป็นฐานข้อมูลภาพจะถูกจัดเป็นหมวดตามจำนวนของบุคคลที่ใช้ในการถ่ายภาพฝ้ามือจำนวน 5 หมวด หมวดละ 40 ภาพ โดยให้บุคคลที่ 1 อยู่ในหมวดที่ 1 บุคคลที่ 2 อยู่ในหมวดที่ 2 บุคคลที่ 3 อยู่ในหมวดที่ 3 บุคคลที่ 4 อยู่ในหมวดที่ 4 และบุคคลที่ 5 อยู่ในหมวดที่ 5 ตัวอย่างกระบวนการ Training แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การนำภาพที่ได้จากกระบวนการที่ 6 มากำหนดในฐานข้อมูลภาพ

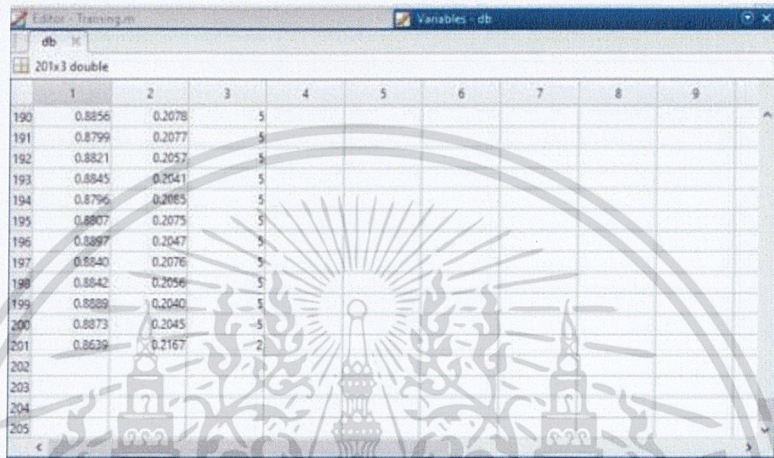
8. การกำหนดข้อมูลจองภาพว่าภาพนี้เป็นของบุคคลที่เท่าไรเพื่อให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้และจดจำเพื่อที่จะนำไปใช้ในการทำนายภาพบุคคลในขั้นตอนต่อไปได้ ซึ่งในตัวอย่างกำหนดเป็นของบุคคลที่ 2 ตัวอย่างการกำหนดข้อมูลจองภาพแสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 การกำหนดข้อมูลจองภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

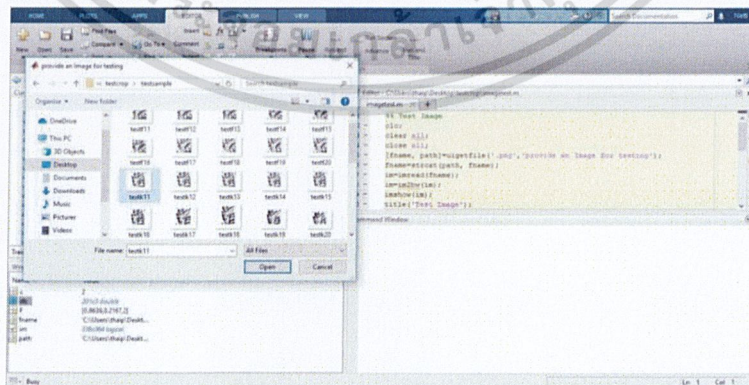
9. ภาพที่ถูกเก็บข้อมูลนั้นจะเข้ามาเป็นฐานข้อมูลภาพ เพื่อใช้ในการทำนายภาพของบุคคล ภาพที่ต้องการตรวจสอบ ตารางนั้นจะเก็บค่าที่เป็นค่าตัวแปรเฉพาะของภาพ ในส่วนของช่องที่ 1 นั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยพิกเซลของภาพ ค่าในช่องที่ 2 เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานพิกเซลของภาพ ในช่องที่ 3 จะเป็นช่องกำหนดภาพว่าเป็นภาพฝ่ามือของบุคคลใด เมื่อทำการแยกแยะภาพค่าเป็นนี้จะเป็นตัวบ่งบอกว่าภาพที่ป้อนเข้ามาตรงกับบุคคลใด ตัวอย่างตารางค่าตัวแปรเฉพาะของภาพแสดงดังรูปที่ 3.28



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
190	0.8856	0.2078	5						
191	0.8799	0.2077	5						
192	0.8821	0.2057	5						
193	0.8845	0.2041	5						
194	0.8796	0.2065	5						
195	0.8807	0.2075	5						
196	0.8897	0.2047	5						
197	0.8840	0.2076	5						
198	0.8842	0.2056	5						
199	0.8889	0.2040	5						
200	0.8873	0.2045	-5						
201	0.8639	0.2167	2						
202									
203									
204									
205									

รูปที่ 3.28 เก็บภาพเข้ามาเป็นภาพในฐานข้อมูล

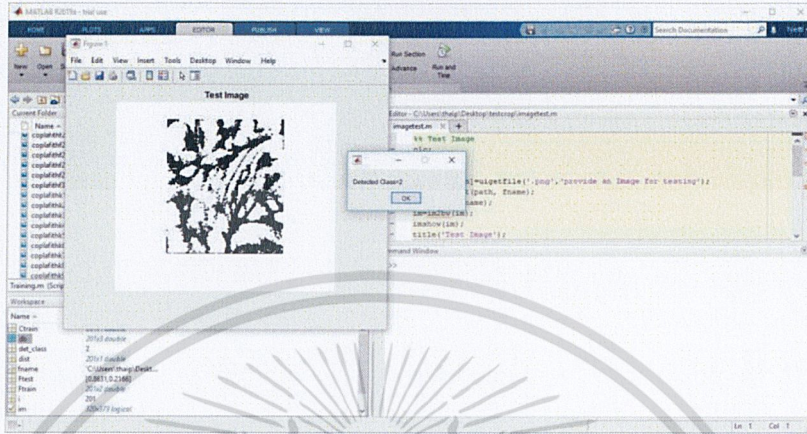
10. เลือกภาพที่ต้องการที่จะตรวจสอบ ซึ่งเป็นภาพที่ไม่ได้อยู่ในฐานข้อมูลภาพ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำนายผลลัพธ์ว่าภาพที่ป้อนเข้าไบนั้นตรงกับบุคคลที่เท่าไร ตัวอย่างการเลือกภาพที่จะตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 เลือกภาพที่ไม่ได้อยู่ในฐานข้อมูลภาพมาตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปขอประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายภาพบุคคลของคอมพิวเตอร์นั้นแสดงค่าออกมาว่าตรงกับบุคคลที่ 2 ซึ่งคำตอบที่ออกมานั้นมีความถูกต้อง ตัวอย่างการแสดงผลการทำนายแสดงดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ผลลัพธ์ที่ได้จากการคาดคะเนของคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการดำเนินงานประมวลผลภาพทั้งหมดแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงานประมวลผลภาพดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงานประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลองแหล่งกำเนิดแสง

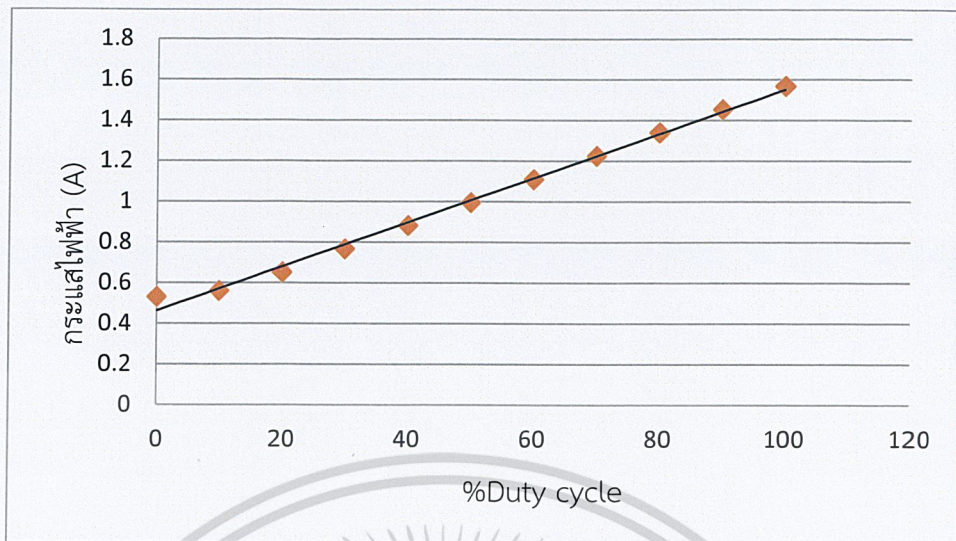
4.1.1 ผลการควบคุมการปรับกระแสไฟฟ้า

1. ผลค่ากระแสไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าดังแสดงผลในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลกระแสไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ารุ่น HLG-120H-12B

%Duty	PWM	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	$I_{เฉลี่ย}$ (A)
0	255	0.536	0.529	0.527	0.531
10	252	0.566	0.559	0.557	0.561
20	249	0.656	0.65	0.648	0.651
30	246	0.771	0.765	0.764	0.767
40	243	0.885	0.88	0.879	0.881
50	240	0.999	0.995	0.993	0.996
60	237	1.113	1.110	1.108	1.110
70	234	1.228	1.224	1.223	1.225
80	231	1.342	1.339	1.338	1.339
90	228	1.456	1.453	1.452	1.454
100	225	1.571	1.568	1.567	1.569

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



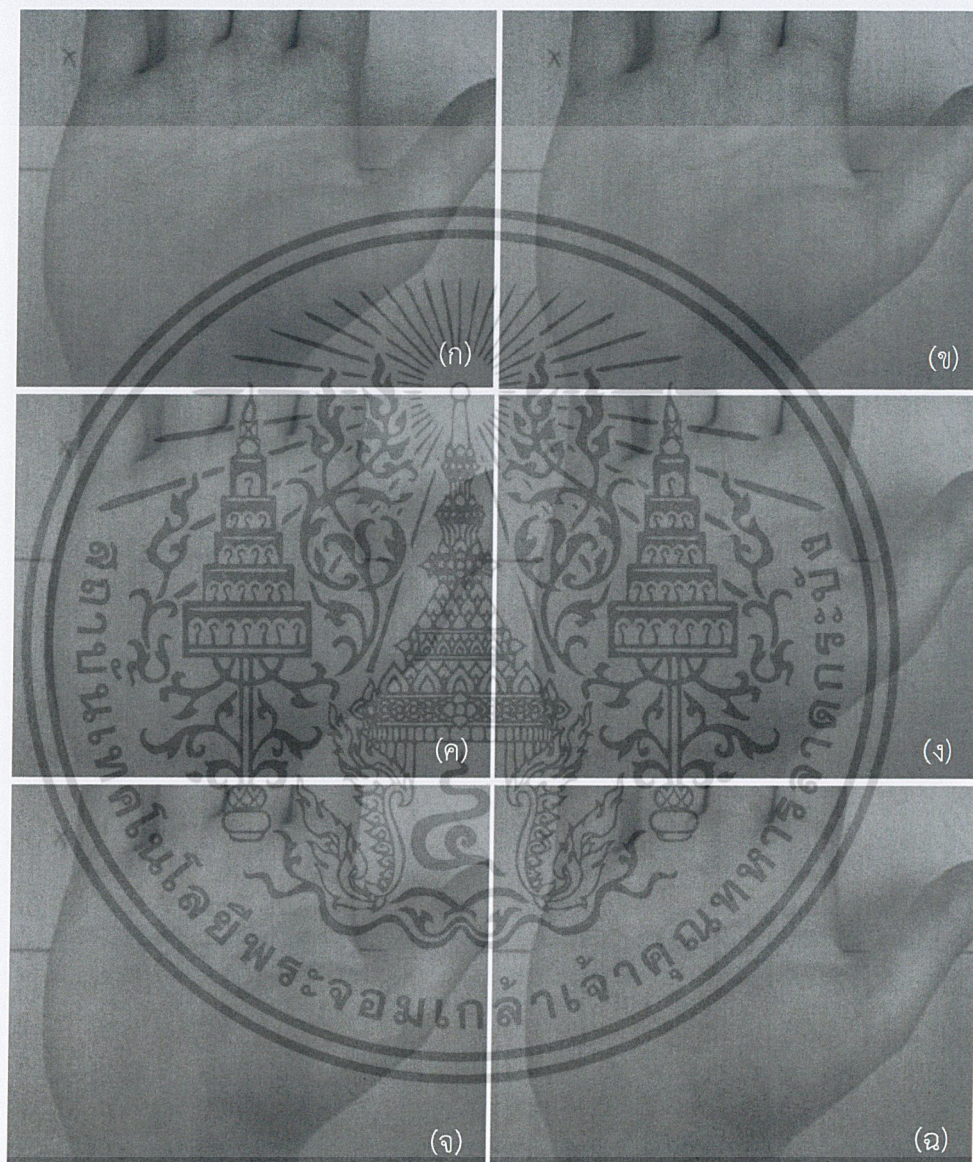
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Duty cycle กับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

จะเห็นว่าที่เปอร์เซ็นต์ Duty cycle 0 % หรือน้ำหนักบิต 255 ได้ค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.531 แอมแปร์ ไม่ได้มีค่าเท่ากับ 0 แอมแปร์ ตามที่คาดการณ์ไว้ ทำค่ากระแสไฟฟ้าที่เปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ผลไม่ได้ตามที่คาดการณ์ไว้ ดังได้แสดงผลเป็นตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

การที่ได้ผลค่ากระแสไฟฟ้ามีความคาดเคลื่อนอาจเป็นเพราะความผิดพลาดในการจ่ายกระแสไฟฟ้าของตัวแหล่งจ่ายไฟฟ้าแต่มีผลการทำงานของแผงไฟออร์เรย์น้อยมาก

2. ผลภาพถ่ายด้วยกล้องอินฟราเรดรุ่น UI-3240ML

ผลภาพถ่ายโดยมีการปรับเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า เพิ่มขึ้นจาก 0 % ถึง 100 % กำหนดระยะแนวแกนตั้งของแผงโฟลาร์เรย์ที่ระยะ 15 เซนติเมตร ผลการถ่ายภาพดังรูปที่ 4.2 ถึง 4.4



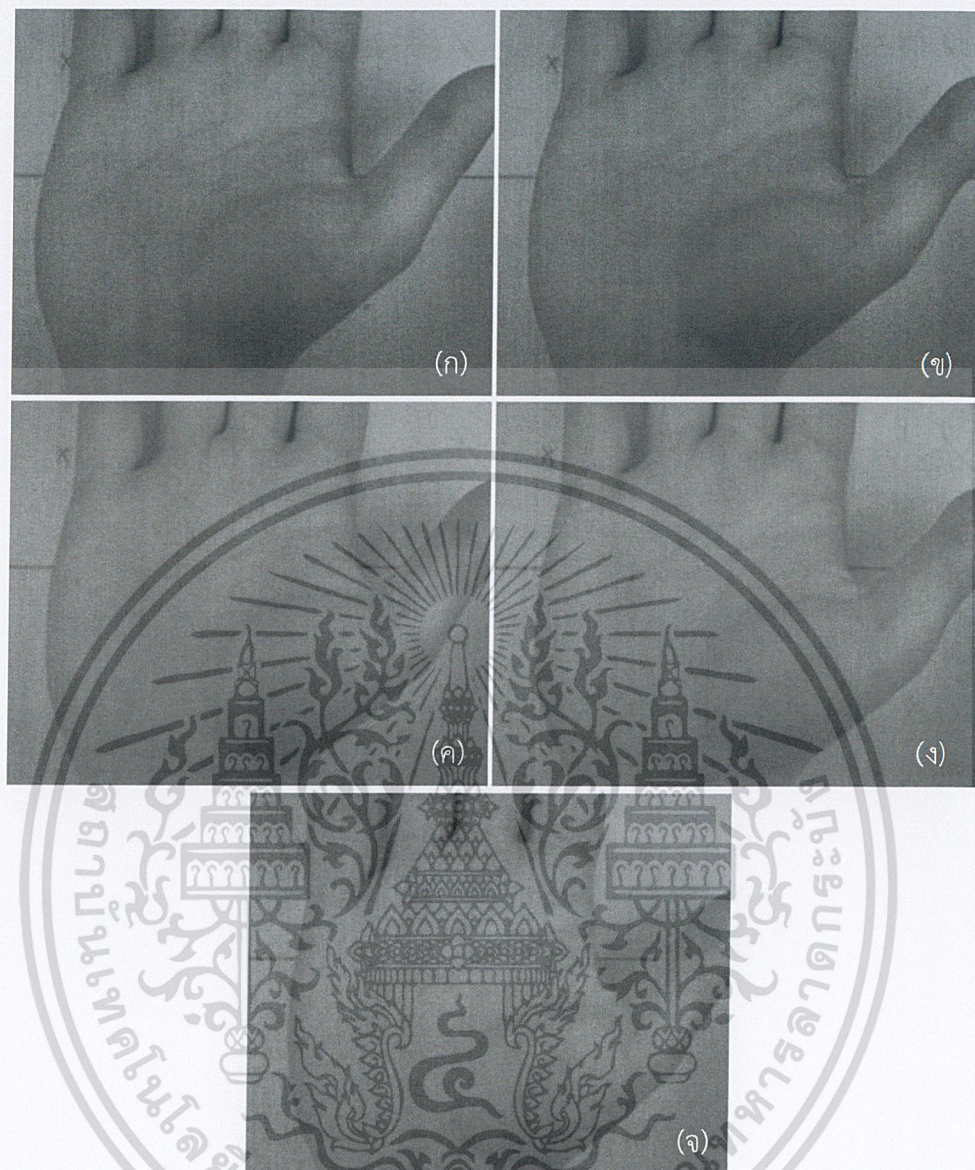
รูปที่ 4.2 ผลการถ่ายภาพที่ควบคุมการปรับกระแสไฟฟ้า

(ก) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 0 % (ข) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 10 %

(ค) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 % (ง) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 30 %

(จ) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 40 % และ (ฉ) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



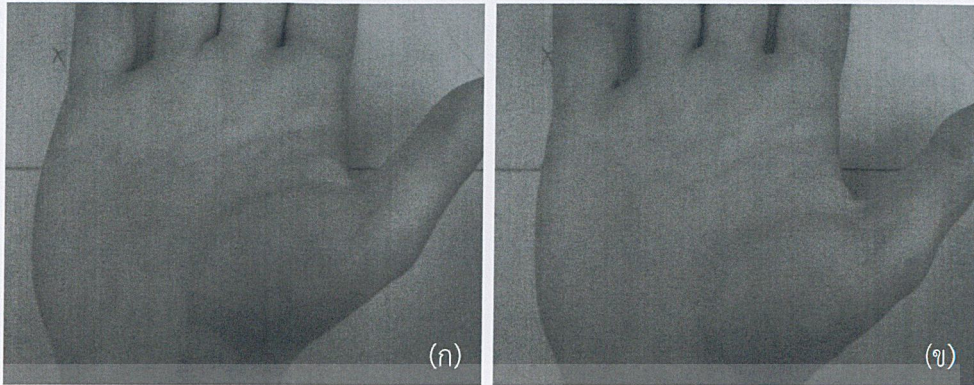
รูปที่ 4.3 ผลการถ่ายภาพที่ควบคุมการปรับกระแสไฟฟ้า

(ก) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 60 % (ข) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 70 %

(ค) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 80 % (ง) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 90 %

และ (จ) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

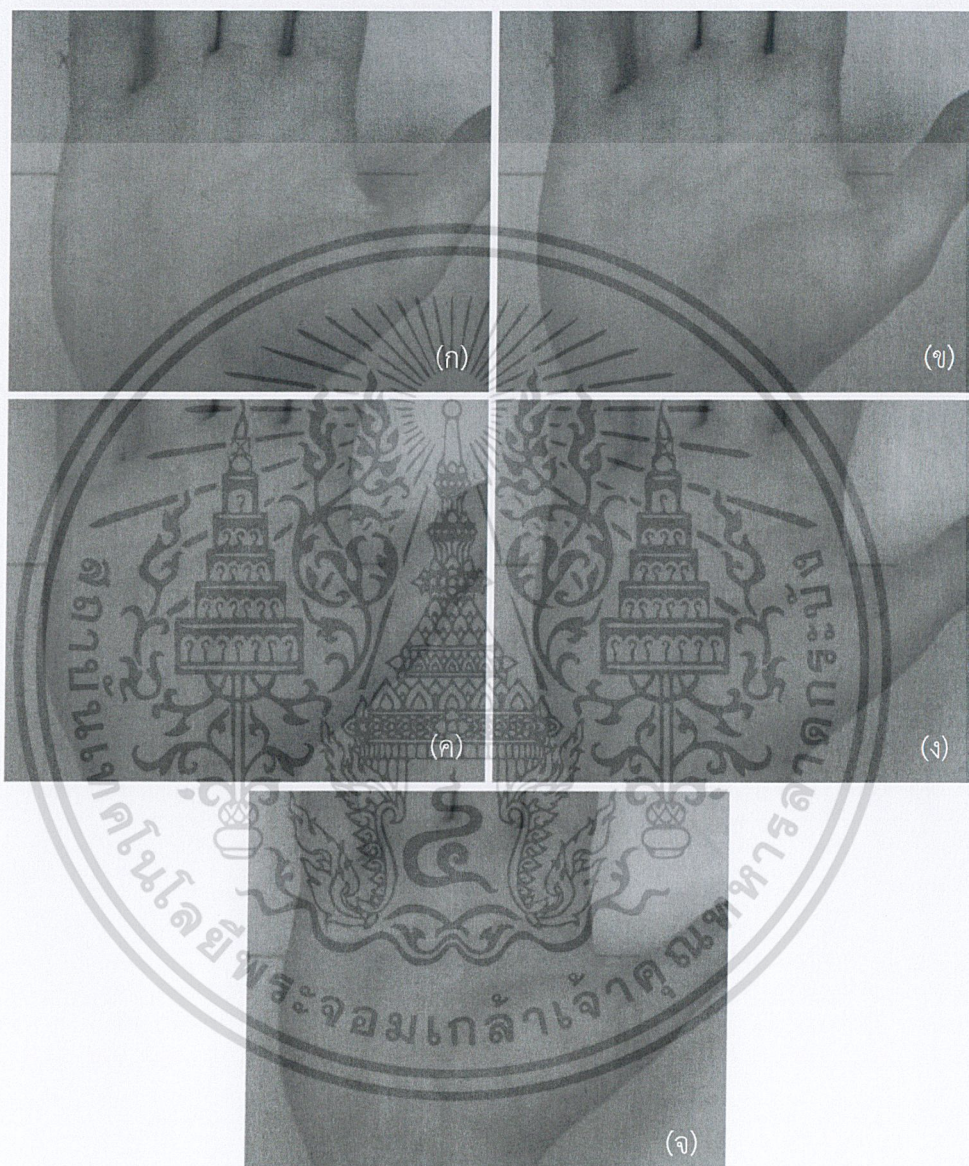


รูปที่ 4.4 ผลภาพเปรียบเทียบระหว่างการปรับเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 0 % กับ 100 %
 (ก) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 0 % และ (ข) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 100 %

ผลเปรียบเทียบภาพถ่ายทั้งในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าการปรับเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 0 % ถึง 100 % ให้ผลการถ่ายภาพที่แตกต่างกันน้อยมาก รูปที่ 4.4 มีการเปรียบเทียบที่ชัดเจนระหว่างภาพ (ก) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 0 % กับ (ข) คือเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 100 % ได้ผลภาพที่มีความแตกต่างกันน้อยมาก สรุปได้ว่าสามารถเลือกใช้เปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทุกเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งผู้ทำโครงการวิจัยพิเศษเลือกใช้เปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 100 %

4.1.2 ผลการควบคุมการปรับระยะแผงไฟอาร์เรย์

บันทึกผลการถ่ายภาพโดยมีการปรับระยะในแนวแกนตั้งของแผงไฟอาร์เรย์ และกำหนดเปอร์เซ็นต์การจ่ายกระแสไฟฟ้า 100 % แสดงผลดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.6



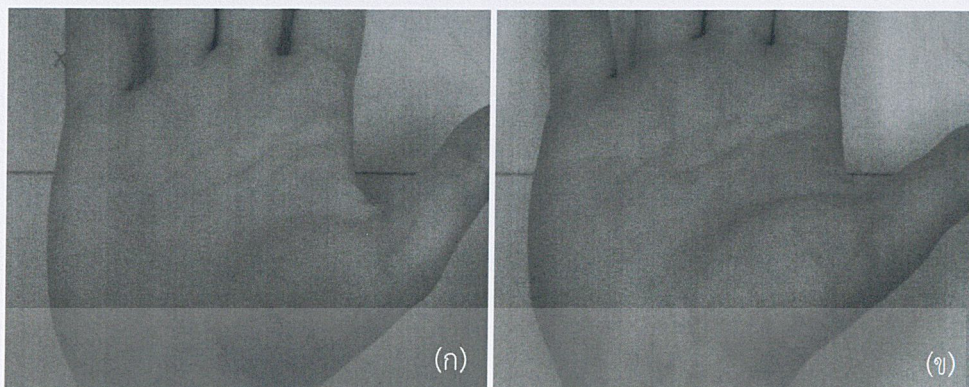
รูปที่ 4.5 ผลการถ่ายภาพที่ควบคุมการปรับระยะแนวแกนตั้งของแผงไฟอาร์เรย์

(ก) คือระยะในแนวแกนตั้ง 15 เซนติเมตร (ข) คือระยะในแนวแกนตั้ง 20 เซนติเมตร

(ค) คือระยะในแนวแกนตั้ง 25 เซนติเมตร (ง) คือระยะในแนวแกนตั้ง 30 เซนติเมตร

และ (จ) คือระยะในแนวแกนตั้ง 35 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลภาพเปรียบเทียบระหว่างระยะแนวแกนตั้ง 15 กับ 35 เซนติเมตร ของแผงไฟอาร์เรย์
(ก) คือระยะในแนวแกนตั้ง 15 เซนติเมตร และ (ข) คือระยะในแนวแกนตั้ง 35 เซนติเมตร

ผลเปรียบเทียบภาพถ่ายทั้งในรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการปรับระยะแผงไฟอาร์เรย์ในแนวแกนตั้งระยะที่ 15 เซนติเมตร ถึง 35 เซนติเมตร พบว่าเมื่อเพิ่มระยะในแนวแกนตั้งของแผงไฟอาร์เรย์มากขึ้น ภาพเส้นเลือดมีความชัดเจนมากขึ้นเพียงเล็กน้อย รูปที่ 4.6 มีการเปรียบเทียบที่ชัดเจนระหว่างภาพ (ก) คือระยะในแนวแกนตั้ง 15 เซนติเมตร กับ (ข) คือระยะในแนวแกนตั้ง 35 เซนติเมตร ได้ผลภาพที่มีความแตกต่างกันน้อยมาก สรุปได้ว่าสามารถเลือกใช้ระยะในแนวแกนตั้งของอาร์เรย์ได้ทุกระยะ ซึ่งผู้ทำโครงการวิจัยพิเศษเลือกใช้ที่ระยะ 15 เซนติเมตร

ตารางบันทึกผลการทดสอบ จะทดสอบทั้งหมด 50 ตัวอย่าง ซึ่งกำหนดให้เลขแทนตัวบุคคลดังนี้ บุคคลที่ 1 = 1 บุคคลที่ 2 = 2 บุคคลที่ 3 = 3 บุคคลที่ 4 = 4 และบุคคลที่ 5 = 5 แสดงผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูล

รูปที่	ผลที่คาดการณ์	ผลที่ได้จากการทดสอบ	ผลลัพธ์ของภาพ
1	1	1	ถูก
2	1	1	ถูก
3	1	1	ถูก
4	1	1	ถูก
5	1	1	ถูก
6	1	1	ถูก
7	1	1	ถูก
8	1	1	ถูก
9	1	1	ถูก
10	1	1	ถูก
11	2	2	ถูก
12	2	2	ถูก
13	2	2	ถูก
14	2	2	ถูก
15	2	2	ถูก
16	2	2	ถูก
17	2	2	ถูก
18	2	2	ถูก
19	2	2	ถูก
20	2	2	ถูก
21	3	3	ถูก
22	3	3	ถูก
23	3	3	ถูก
24	3	3	ถูก
25	3	3	ถูก
26	3	3	ถูก
27	3	3	ถูก
28	3	3	ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูล (ต่อ)

รูปที่	ผลที่คาดการณ์	ผลที่ได้จากการทดสอบ	ผลลัพธ์ของภาพ
29	3	3	ถูก
30	3	3	ถูก
31	4	4	ถูก
32	4	4	ถูก
33	4	4	ถูก
34	4	4	ถูก
35	4	4	ถูก
36	4	4	ถูก
37	4	4	ถูก
38	4	4	ถูก
39	4	4	ถูก
40	4	4	ถูก
41	5	5	ถูก
42	5	5	ถูก
43	5	5	ถูก
44	5	5	ถูก
45	5	5	ถูก
46	5	5	ถูก
47	5	5	ถูก
48	5	5	ถูก
49	5	5	ถูก
50	5	5	ถูก

สามารถดูรูปภาพการประมวลผลการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลจากโปรแกรม ได้จากภาคผนวก ก ในหน้า 58 ถึง 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน และเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของการทำนายผลการจำแนกประเภทของภาพ โดยวิธีการเพิ่มหนึ่งในภาพที่มีอยู่ฐานข้อมูลภาพ สามารถคำนวณจากสมการที่ (2.8) และ (2.9)

$$\%Error = \left| \frac{x_{measure} - x_{true}}{x_{true}} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = \left| \frac{50 - 50}{50} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = 0.00 \times 100\%$$

$$\%Error = 0\%$$

$$\%Accuracy = 100 - \%Error$$

$$\%Accuracy = 100 - 0\%$$

$$\%Accuracy = 100\%$$

ในการทำนายผลการจำแนกประเภทของภาพ โดยวิธีการเพิ่มหนึ่งในภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ ได้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0 % และความแม่นยำเท่ากับ 100 % สรุปคือการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มหนึ่งในภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลอยู่แล้ว ได้ความแม่นยำที่สูงมาก กล่าวได้ว่ามีความสามารถในการทำนายภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ประเมินความสามารถการทำนายผลของภาพที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูล

ตัวอย่างผลการจำแนกประเภทของภาพจากภาพทั้งหมด 50 ภาพ ทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูล เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนายผลของฐานข้อมูล ตัวอย่างผลการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มภาพที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างผลการทำนายโดยเพิ่มภาพที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ

(ก) ตัวอย่างการทำนายภาพที่ถูกต้อง และ (ข) ตัวอย่างการทำนายภาพที่ผิดพลาด

การทำนายแสดงผลเป็นตัวเลข บ่งบอกว่าภาพที่ผู้ทดลองเพิ่มเข้าไปมีความคล้ายคลึงหรือเหมือนกับภาพในหมวดใด โดยผู้ทดลองทราบผลคาดการณ์ล่วงหน้าแล้วว่าเป็นภาพที่มีความคล้ายคลึงหรือเหมือนกับภาพที่อยู่หมวดใด จากการทราบผลภาพถ่ายว่ามาจากบุคคลใด รูป (ก) คือภาพที่แสดงผลการทำนายที่ถูกต้อง โดยผู้ทดลองทราบผลคาดการณ์ว่าภาพมาจากบุคคลที่ 1 และโปรแกรมแสดงผลการทำนายว่ามีความคล้ายคลึงกับภาพหมวดที่ 1 ในฐานข้อมูลภาพ และรูป (ข) คือภาพที่แสดงผลการทำนายที่ผิดพลาด โดยผู้ทดลองทราบผลคาดการณ์ว่าภาพมาจากบุคคลที่ 1 แต่โปรแกรมแสดงผลการทำนายว่ามีความคล้ายคลึงกับภาพหมวดที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลการทดสอบ จะทดสอบทั้งหมด 50 ตัวอย่าง ซึ่งกำหนดให้เลขแทนตัวบุคคลดังนี้ บุคคลที่1 = 1 บุคคลที่2 = 2 บุคคลที่3 = 3 บุคคลที่4 = 4 และบุคคลที่5 = 5 แสดงผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มภาพที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูล

รูปที่	ผลที่คาดการณ์	ผลที่ได้จากการทดสอบ	ผลลัพธ์ของภาพ
1	1	4	ผิด
2	1	4	ผิด
3	1	1	ถูก
4	1	1	ถูก
5	1	4	ผิด
6	1	1	ถูก
7	1	1	ถูก
8	1	1	ถูก
9	1	2	ผิด
10	1	2	ผิด
11	2	2	ถูก
12	2	2	ถูก
13	2	2	ถูก
14	2	2	ถูก
15	2	2	ถูก
16	2	2	ถูก
17	2	2	ถูก
18	2	2	ถูก
19	2	4	ผิด
20	2	1	ผิด
21	3	3	ถูก
22	3	5	ผิด
23	3	3	ถูก
24	3	3	ถูก
25	3	3	ถูก
26	3	3	ถูก
27	3	3	ถูก
28	3	3	ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มภาพที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูล (ต่อ)

รูปที่	ผลที่คาดการณ์	ผลที่ได้จากการทดสอบ	ผลลัพธ์ของภาพ
29	3	3	ถูก
30	3	3	ถูก
31	4	4	ถูก
32	4	4	ถูก
33	4	4	ถูก
34	4	4	ถูก
35	4	4	ถูก
36	4	4	ถูก
37	4	4	ถูก
38	4	4	ถูก
39	4	4	ถูก
40	4	4	ถูก
41	5	5	ถูก
42	5	3	ผิด
43	5	5	ถูก
44	5	3	ผิด
45	5	5	ถูก
46	5	3	ผิด
47	5	5	ถูก
48	5	3	ผิด
49	5	5	ถูก
50	5	5	ถูก

สามารถดูรูปภาพการประมวลผลการทำนายความแม่นยำโดยการเพิ่มภาพที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลจากโปรแกรม ได้จากภาคผนวก ก ในหน้า 83 ถึง 107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน และเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของการทำนายผลการจำแนกประเภทของภาพ โดยวิธีการเพิ่มหนึ่งในภาพที่มีอยู่ฐานข้อมูลภาพ สามารถคำนวณจากสมการที่ (2.8) และ (2.9)

$$\%Error = \left| \frac{x_{measure} - x_{true}}{x_{true}} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = \left| \frac{38 - 50}{50} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = 0.24 \times 100\%$$

$$\%Error = 24\%$$

$$\%Accuracy = 100 - \%Error$$

$$\%Accuracy = 100 - 24\%$$

$$\%Accuracy = 76\%$$

ในการทำนายทำนายผลการจำแนกประเภทของภาพ โดยวิธีการเพิ่มภาพที่ไม่มีในฐานข้อมูลภาพ ได้ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 24 % และความแม่นยำเท่ากับ 76 % สรุปคือการทำนายภาพที่ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูลยังมีความผิดพลาดเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการระบุอัตลักษณ์บุคคลจากเส้นเลือดสรุปผลได้ดังต่อไปนี้ การระบุอัตลักษณ์บุคคลในโครงการวิจัยนี้เป็นวิธีการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงเหมือนกันของลักษณะภาพหลอดเลือดของบุคคลนั้น ๆ จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายอินฟราเรดย่านใกล้โดยใช้โปรแกรม MATLAB ระบบการถ่ายภาพเป็นระบบปิดในกล่องทึบไม่ให้แสงภายนอกเข้าในระบบ ประกอบด้วยกล้อง Near-Infrared รุ่น UI-3240ML มีแผงไฟอาร์เรย์อินฟราเรดความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร เป็นแหล่งกำเนิดแสงในโหมดการทำงานแบบโหมดการสะท้อน และการประมวลผลภาพเป็นการทำนายความคล้ายคลึงของภาพตามหลักการโครงข่ายประสาทเทียม โดยเปรียบเทียบภาพกับภาพในฐานข้อมูล ได้รับความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 24 % และความแม่นยำเท่ากับ 76 % เนื่องจากค่าตัวแปรเฉพาะของภาพ เป็นค่าเฉลี่ยพิกเซลของภาพ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานพิกเซลของภาพนั้นยังไม่เหมาะสมที่ใช้ในการทำนายภาพได้อย่างถูกต้องว่าเป็นภาพของบุคคลใด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับผลทดลองและการประมวลผลเกิดจากความชัดของรูปภาพ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการถ่ายภาพของตัวกล้อง การเพิ่มความเด่นชัดของเส้นเลือดที่ปรากฏในภาพถ่ายอาจต้องมีการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นอื่น ควรมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรเฉพาะของภาพในขั้นตอนการประมวลผลภาพ เพื่อความถูกต้องในการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พลตำรวจตรี เลี้ยง หุยประเสริฐ บทที่ 4 การพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคล สถาบันนิติเวชวิทยา
แหล่งที่มา : <http://www.ifm.go.th/th/ifm-book/ifm-textbook/142-identification.html>
- [2] สสวท. กระทรวงศึกษาธิการ 2524 (ฉบับปรับปรุง 2533) หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ 1 ว. 4222
หลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย
แหล่งที่มา : <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/saowalak/spectrum/spectrum.htm>
- [3] สุมิตร สวนสุข 2539 วารสารไฮเอ็ด ม.ปลาย (วิทย) ปีที่1 ฉบับที่7 หน้าที่ 210 ถึง 212
แหล่งที่มา : <https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/saowalak/spectrum/spectrum.htm>
- [4] Kefeng Li 2556 **Biometric Person Identification Using Near-infrared Hand-dorsa Vein Images**
แหล่งที่มา : <https://www.sciencedirect.com/>
- [5] วิสุทธิ์ กังวานตระกูล **Photometry**
แหล่งที่มา : https://home.kku.ac.th/wiskun/book/05Photometry_WK.pdf
- [6] อัมภา สาระศิริ 2559 **เทคนิคการเรียนรู้พื้นฐานโครงข่ายประสาทเทียม** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
กำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
แหล่งที่มา : <http://www.mut.ac.th/research-detail-92>
- [7] ผศ.ดร.นวกัทธา หนูนาคน และ รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัจย์ 2555 **การวัดและเครื่องมือวัดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร** พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการจำแนกประเภทของภาพ

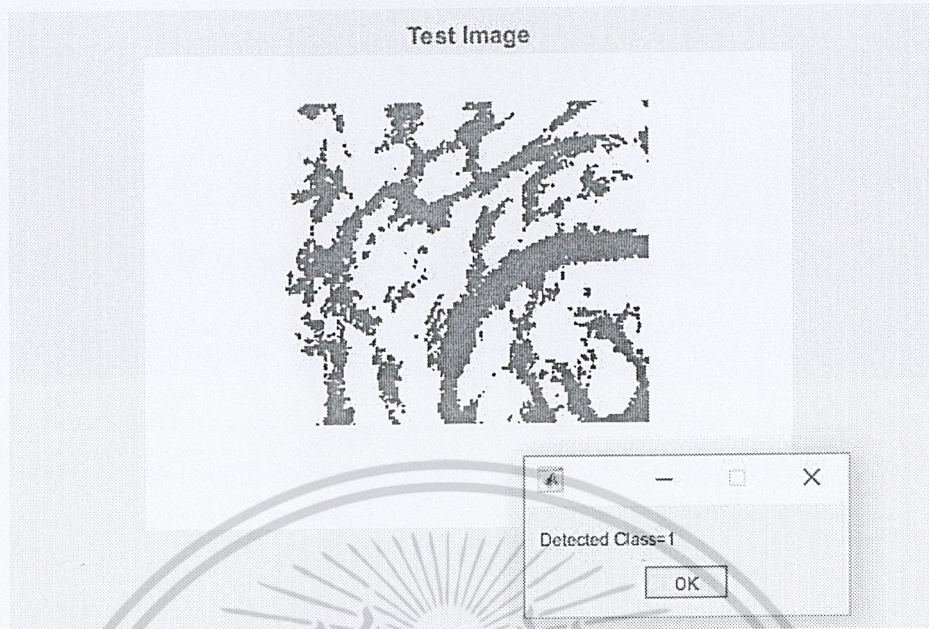
1. ผลประเมินความสามารถการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูล



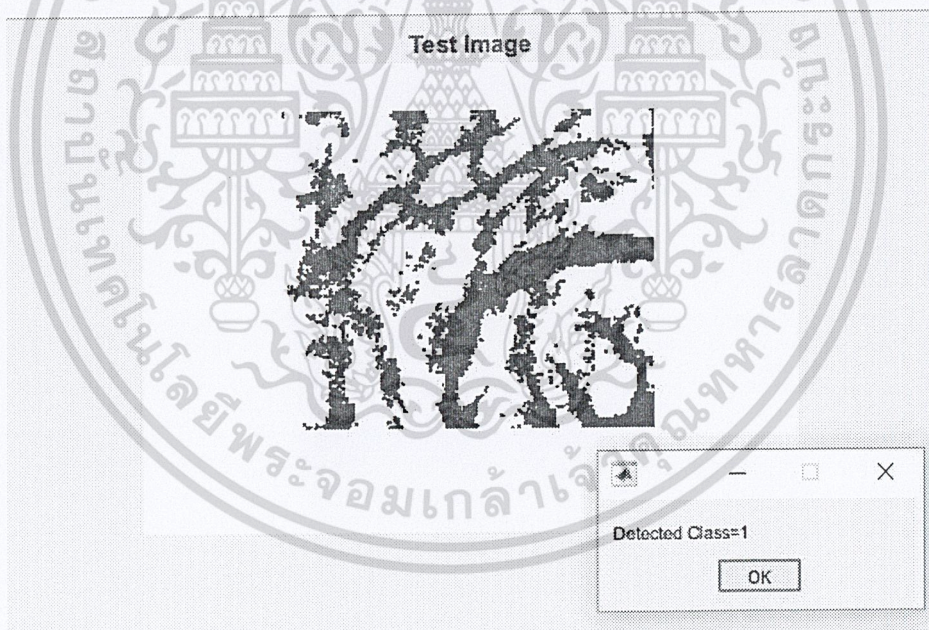
ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 1

ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

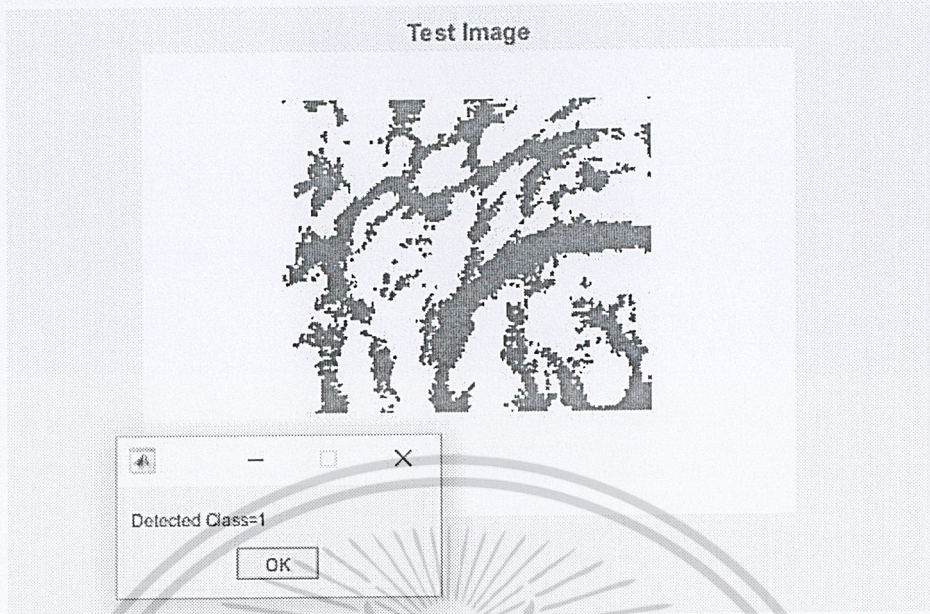


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 3



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

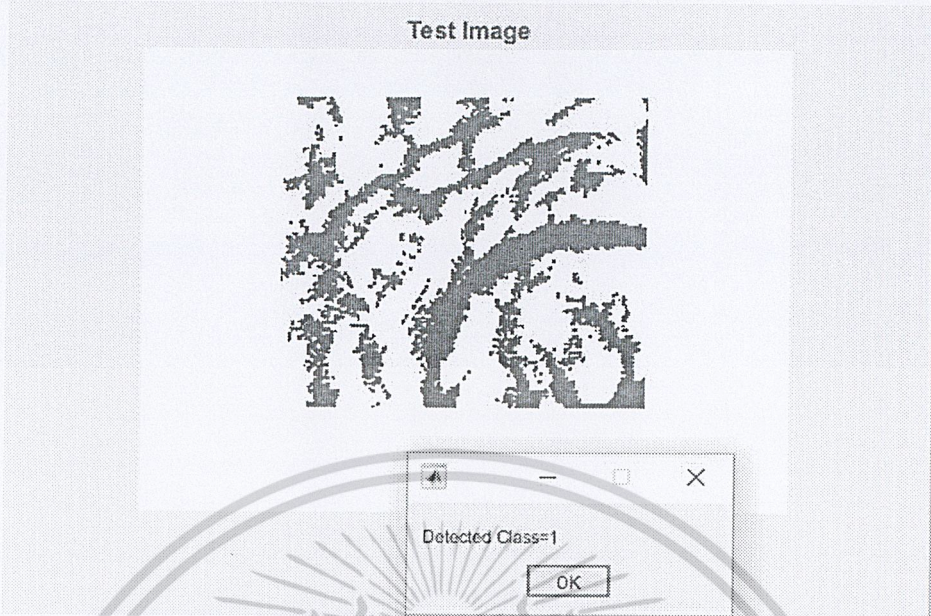


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 5

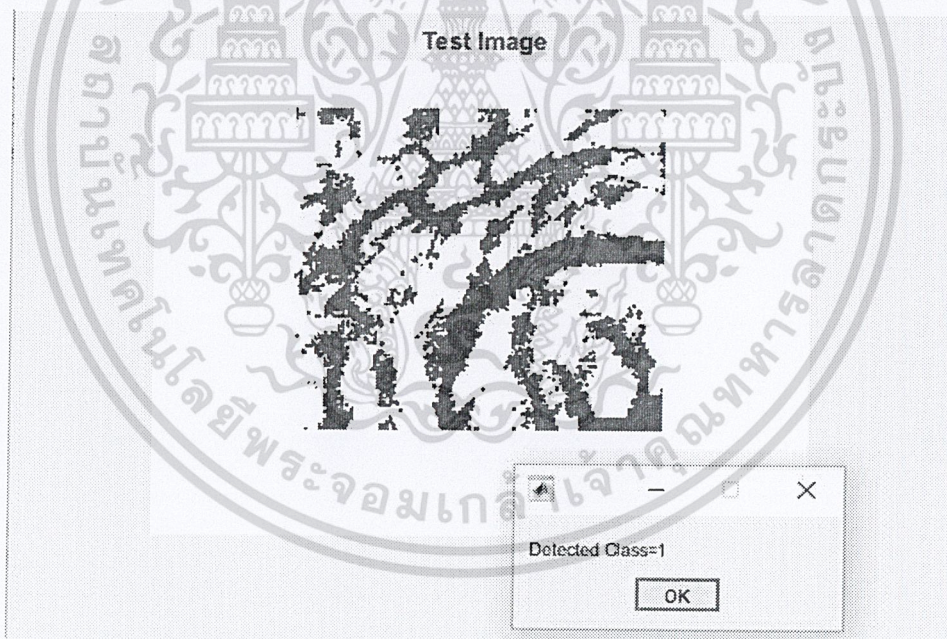


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

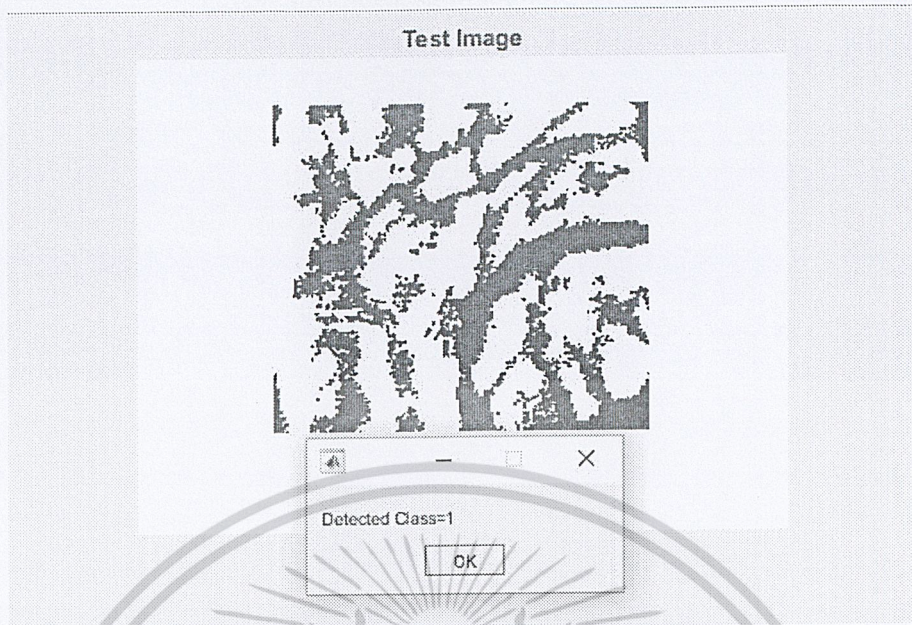


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 7

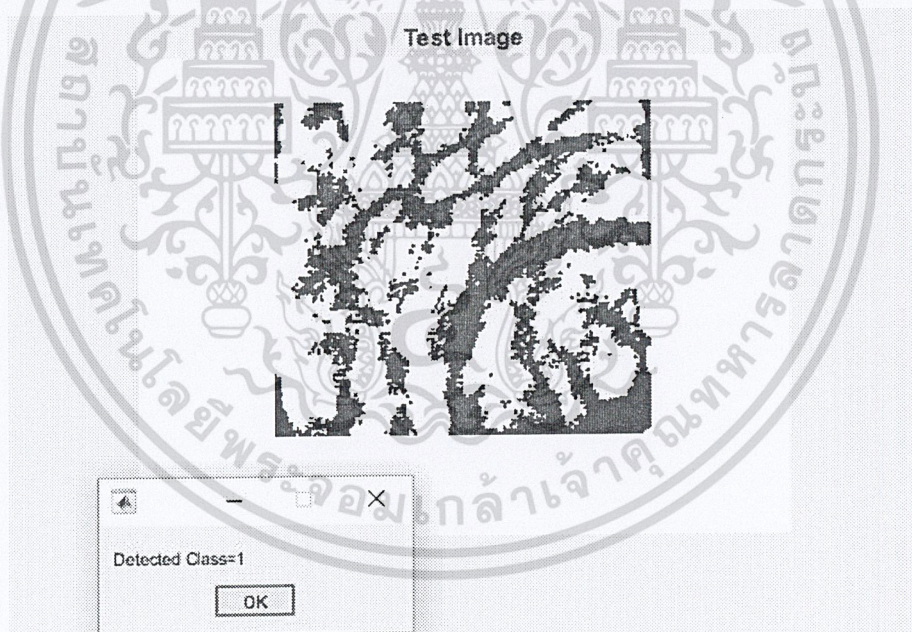


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

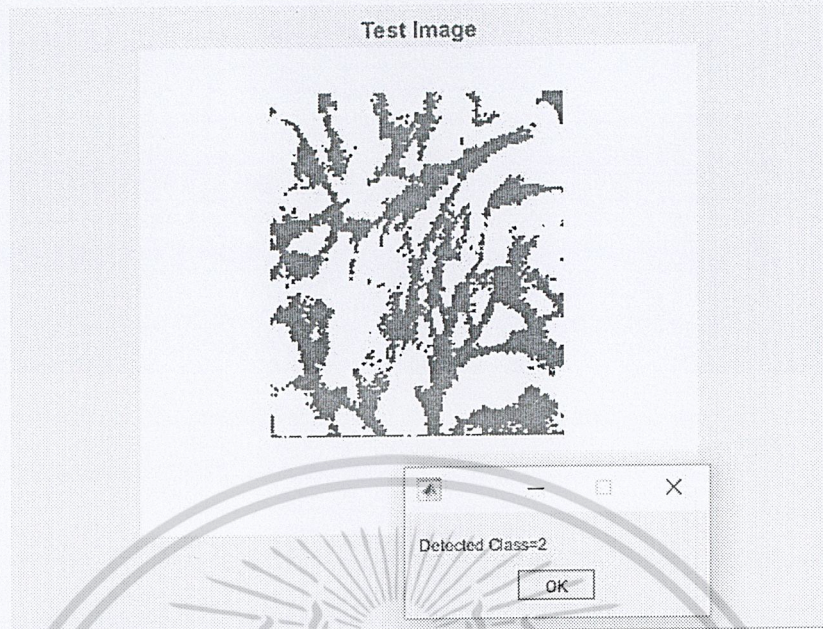


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 9



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

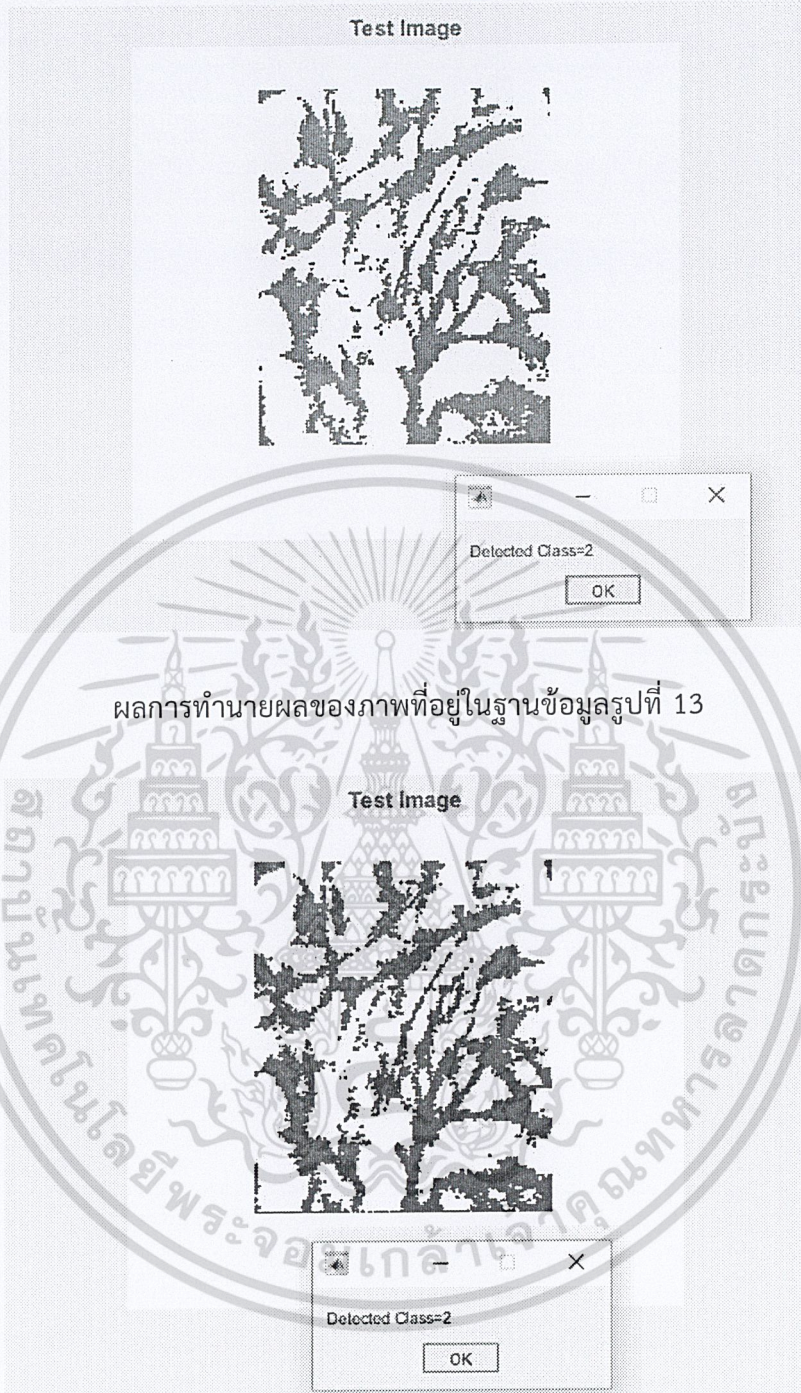


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 11

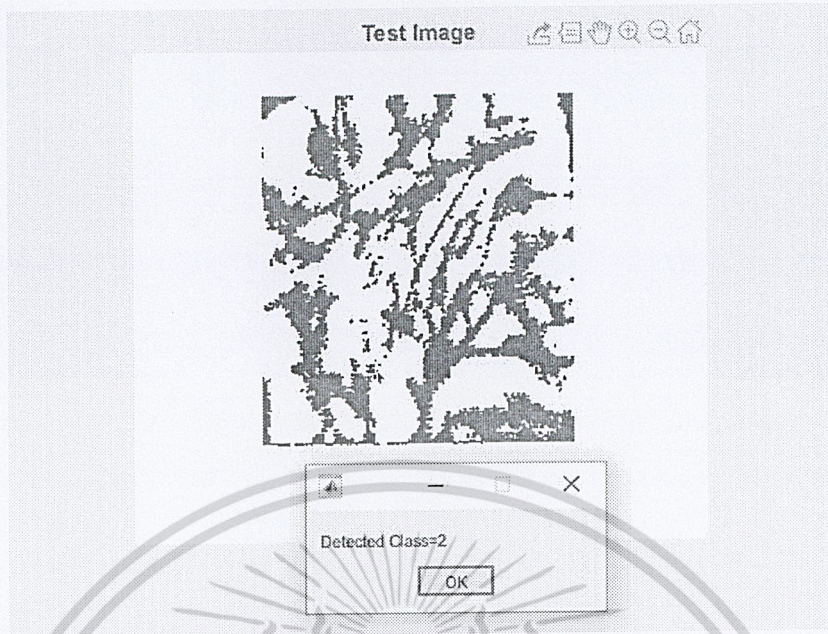


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 12

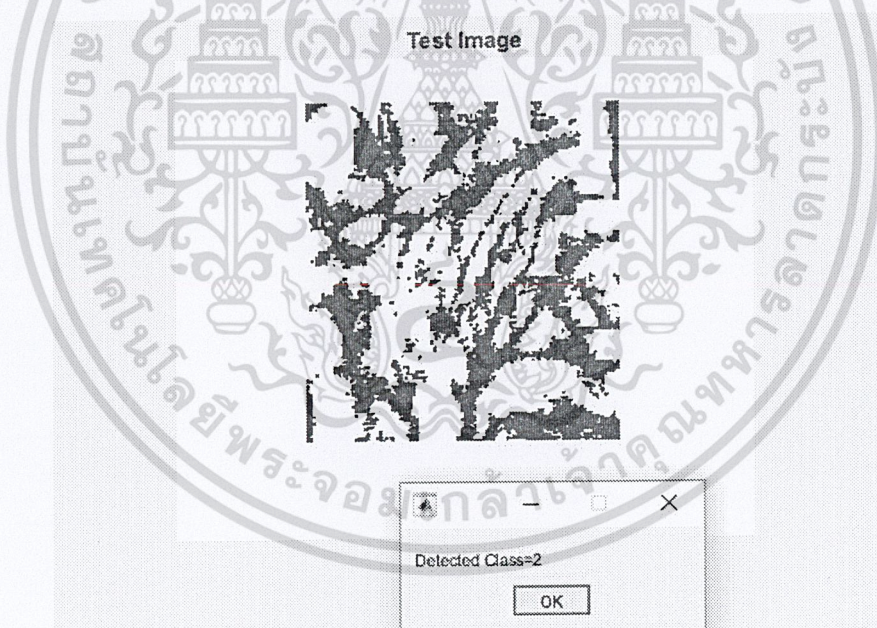
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

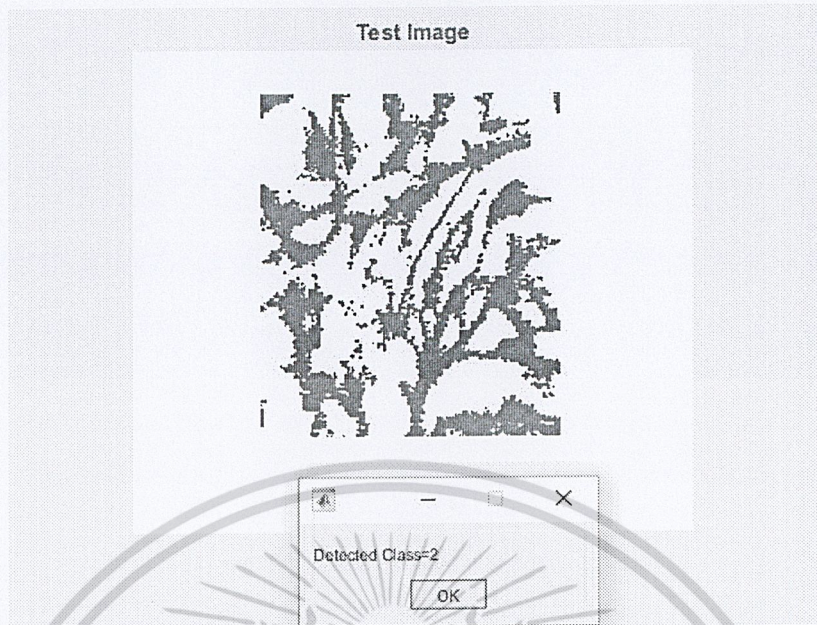


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 15



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

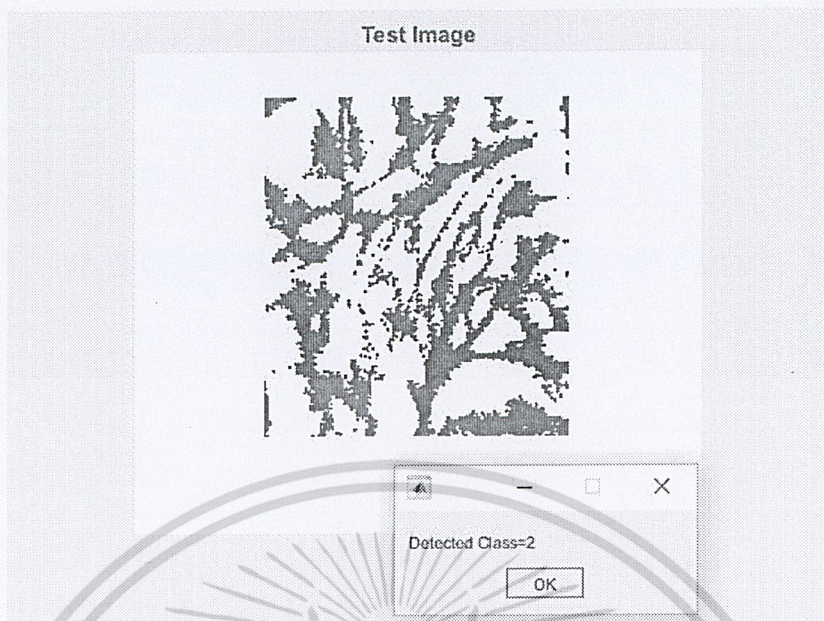


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 17

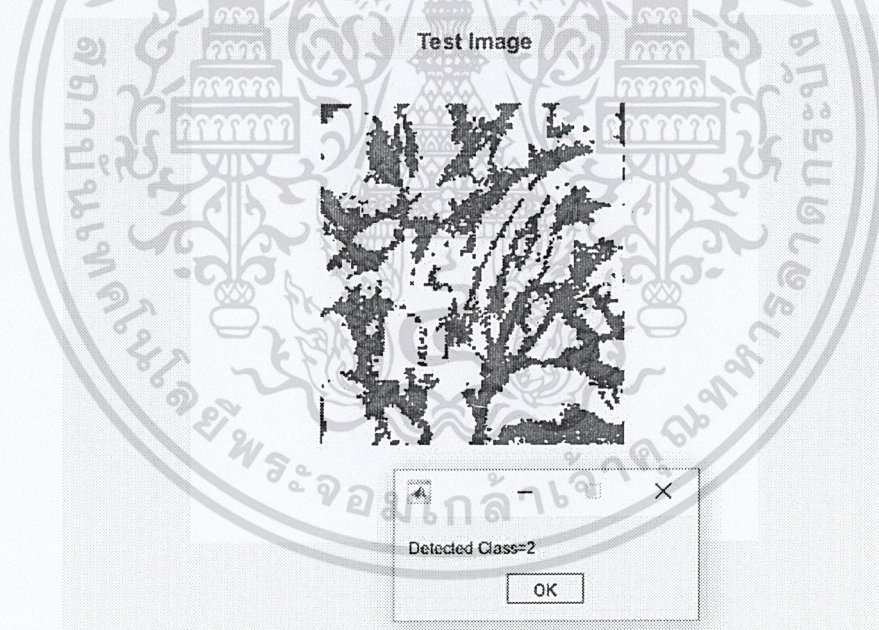


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

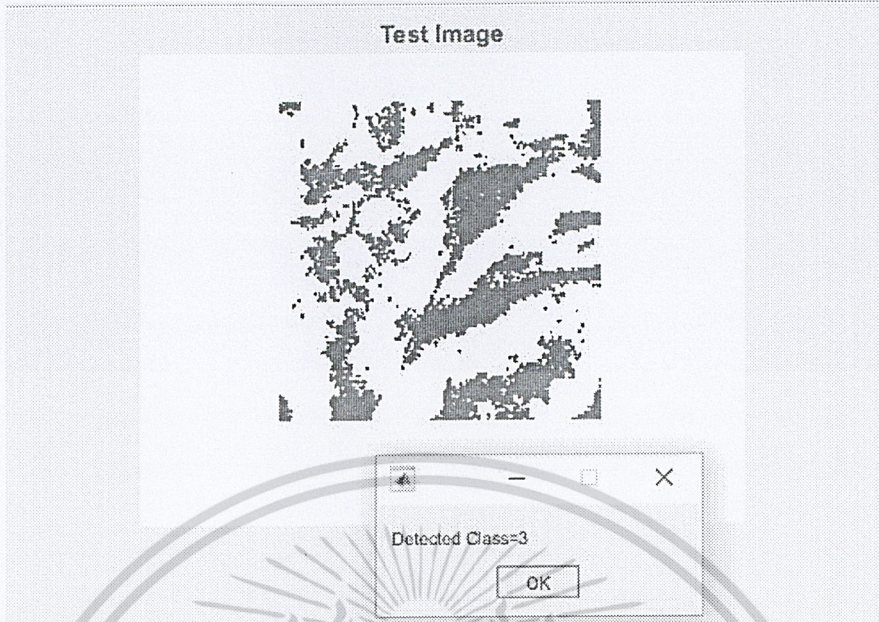


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 19

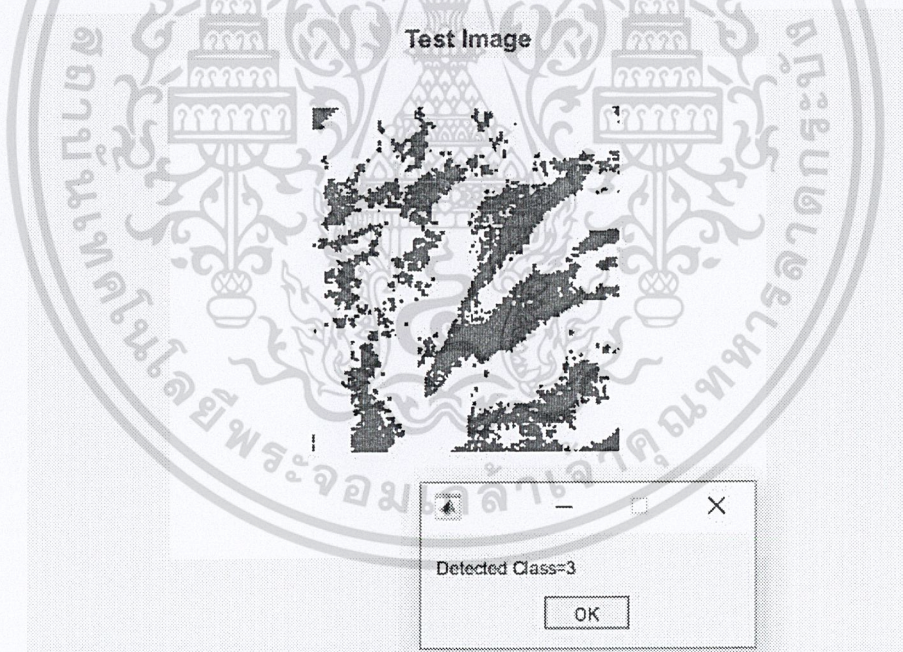


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

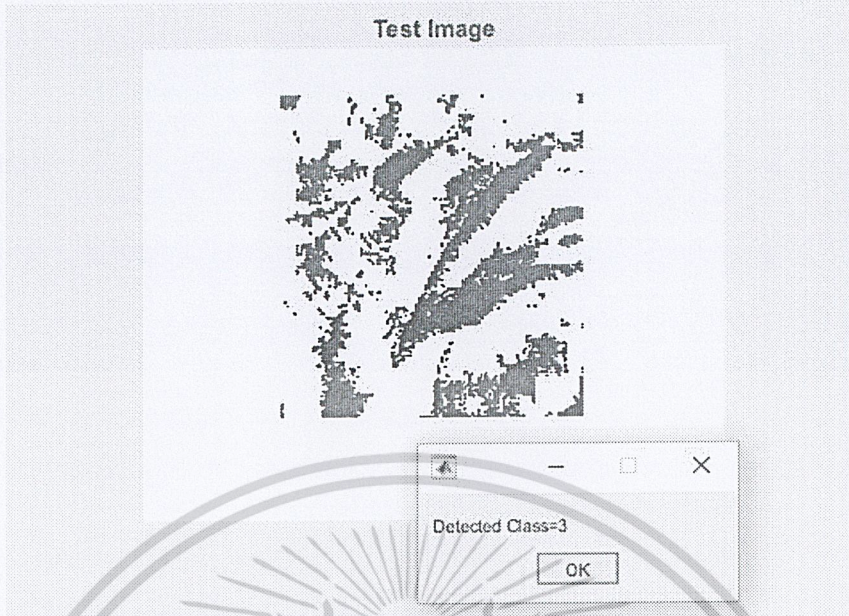


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 21

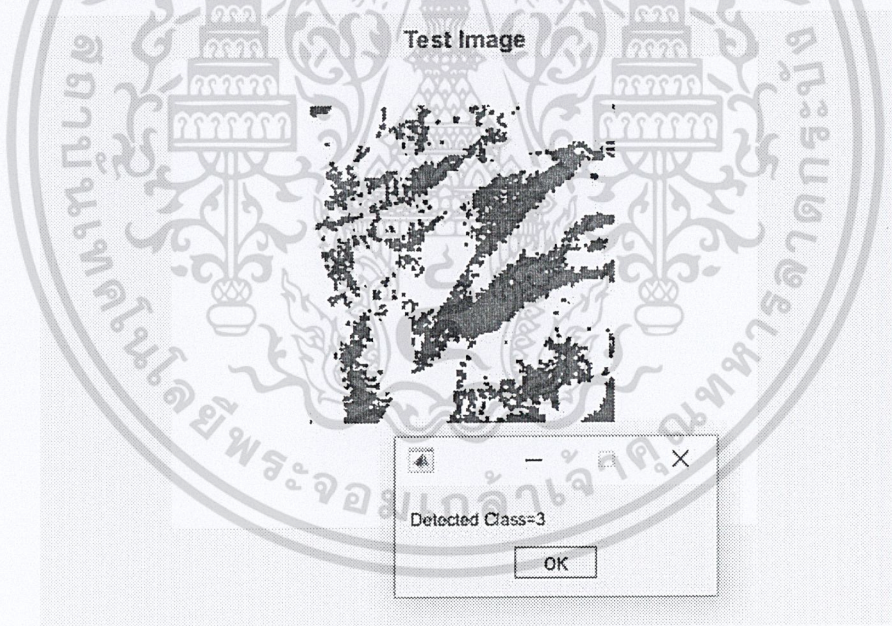


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

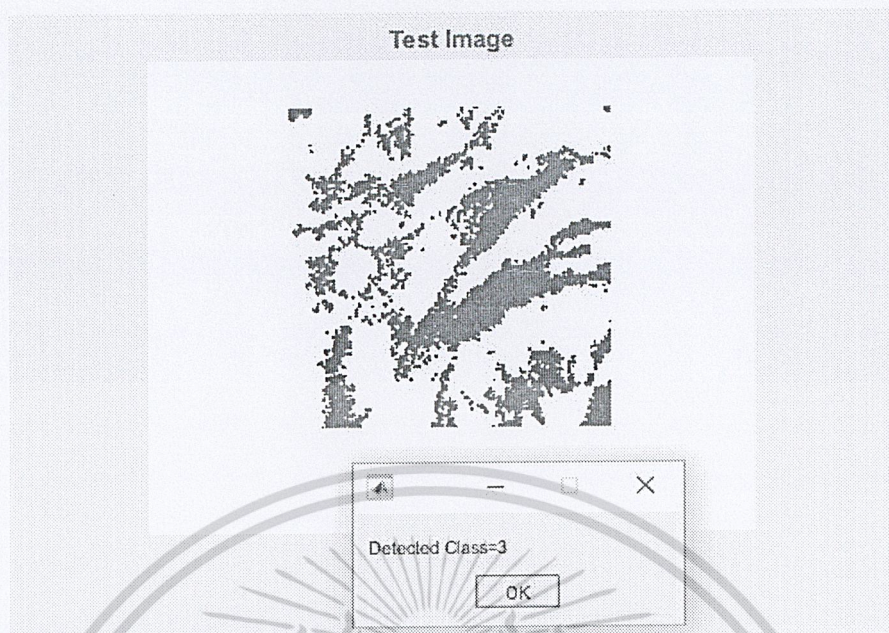


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 23

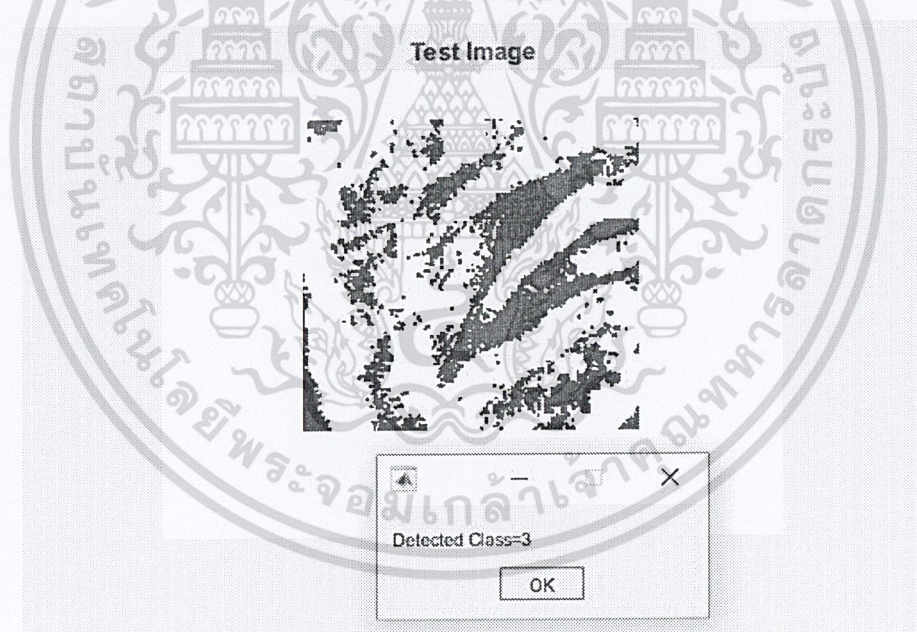


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

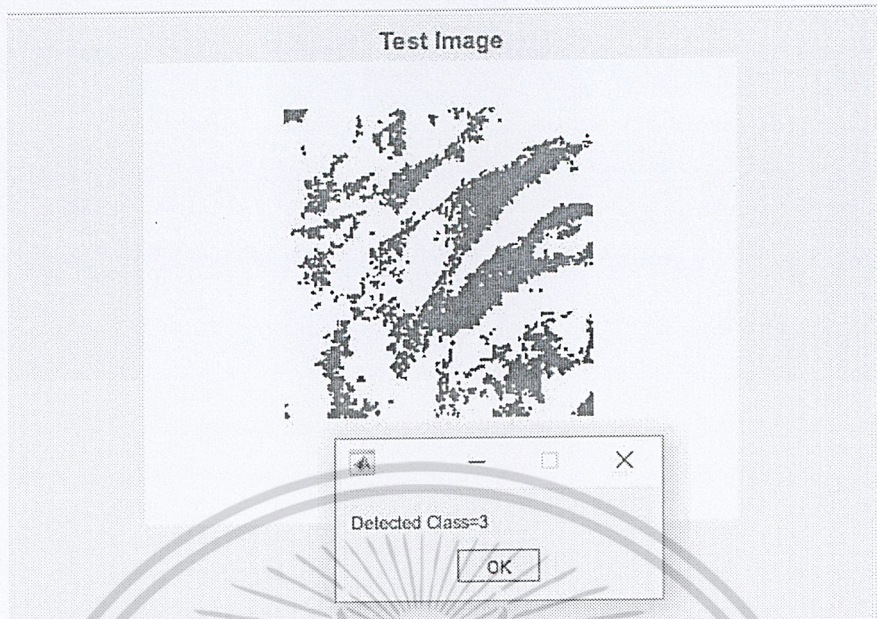


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 25

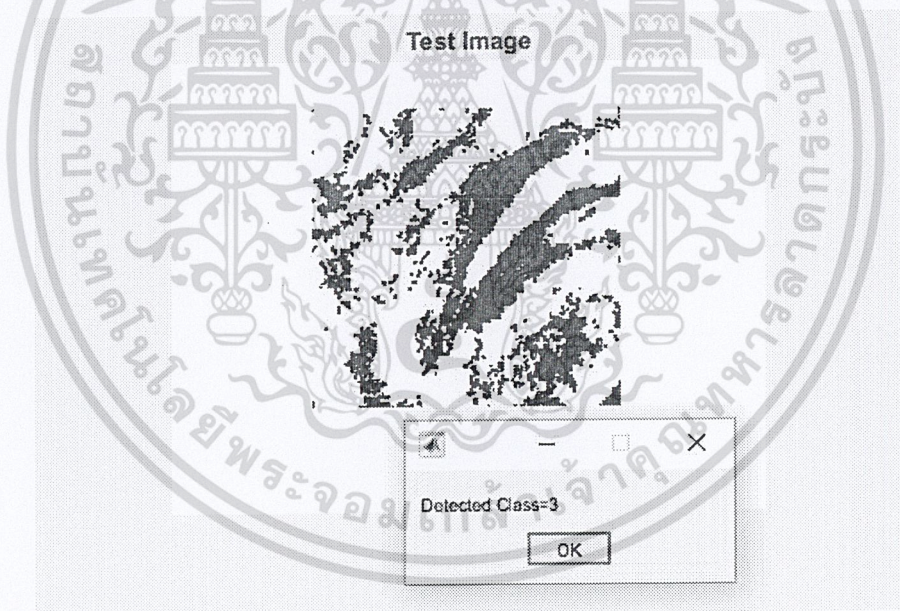


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 27



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



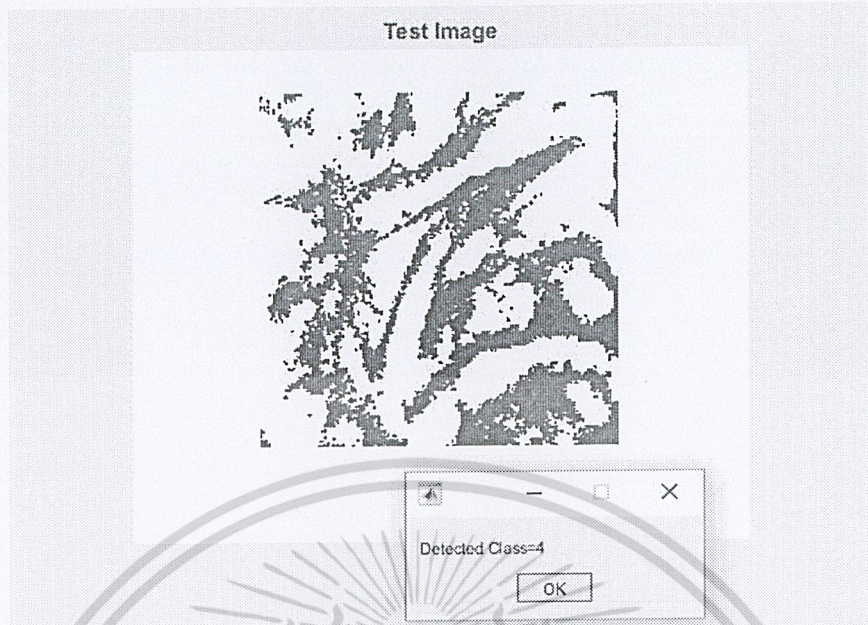
ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

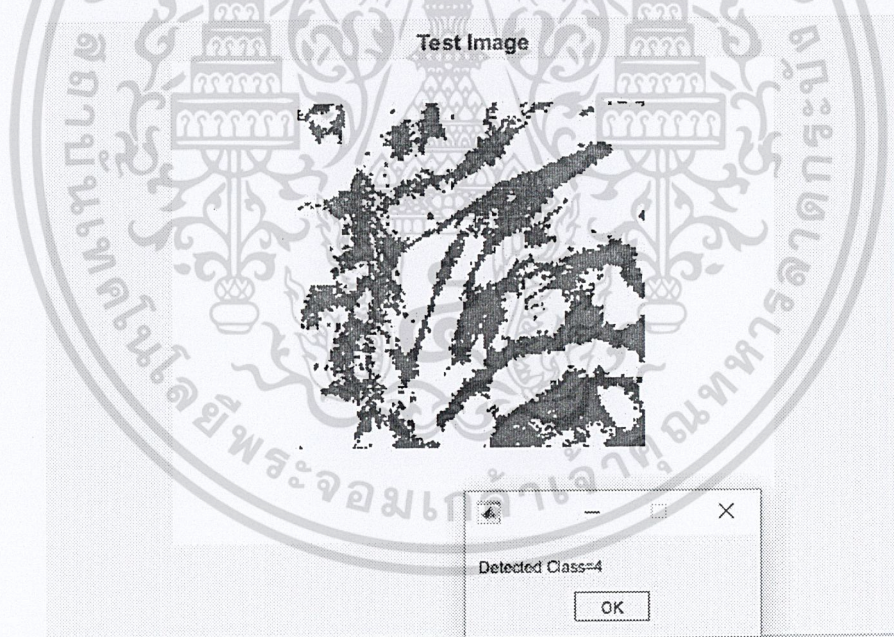


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

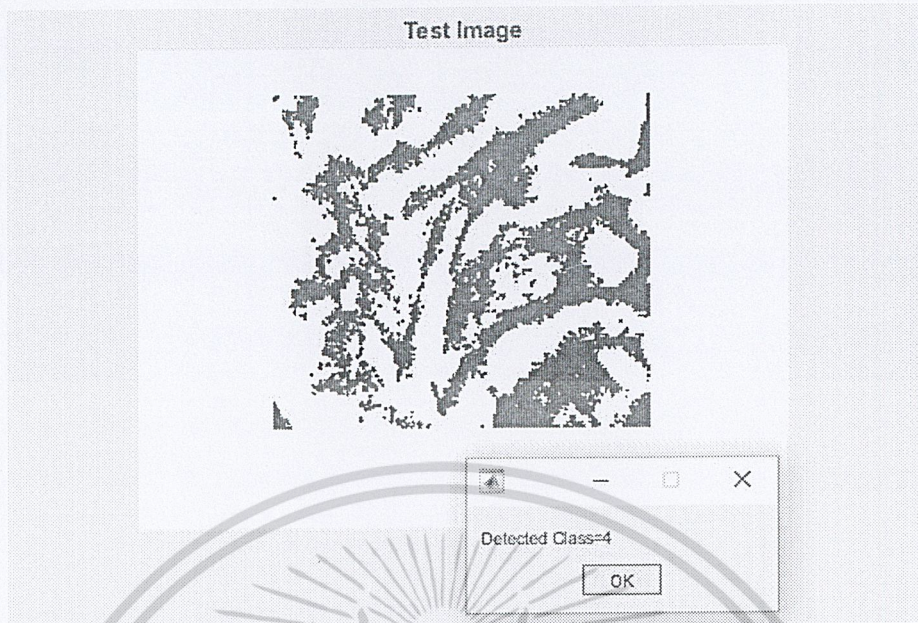


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 33

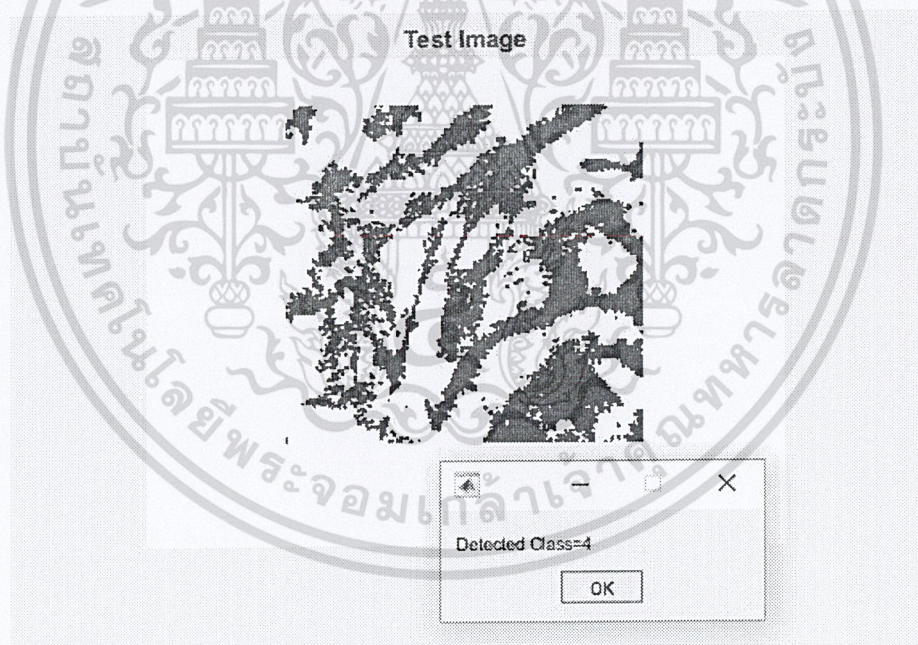


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 35



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

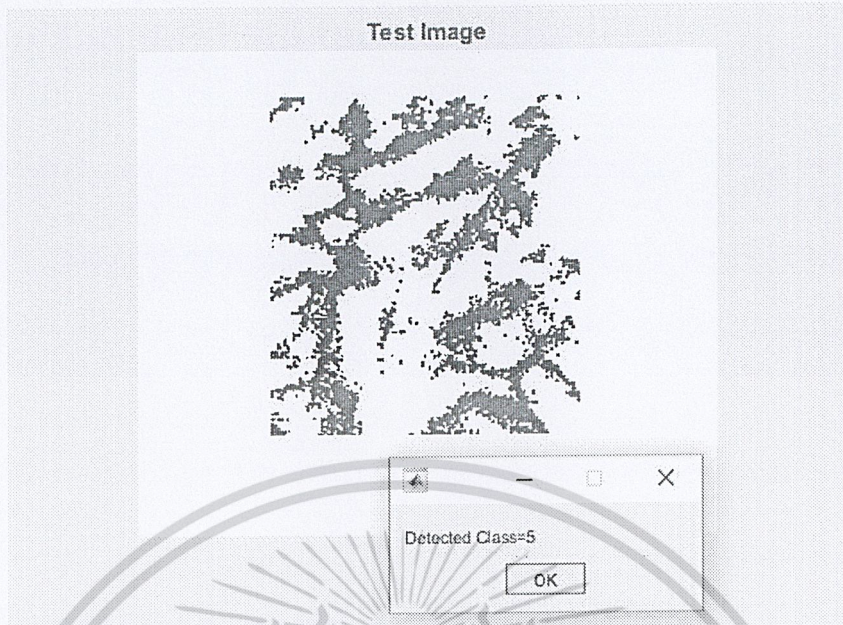


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

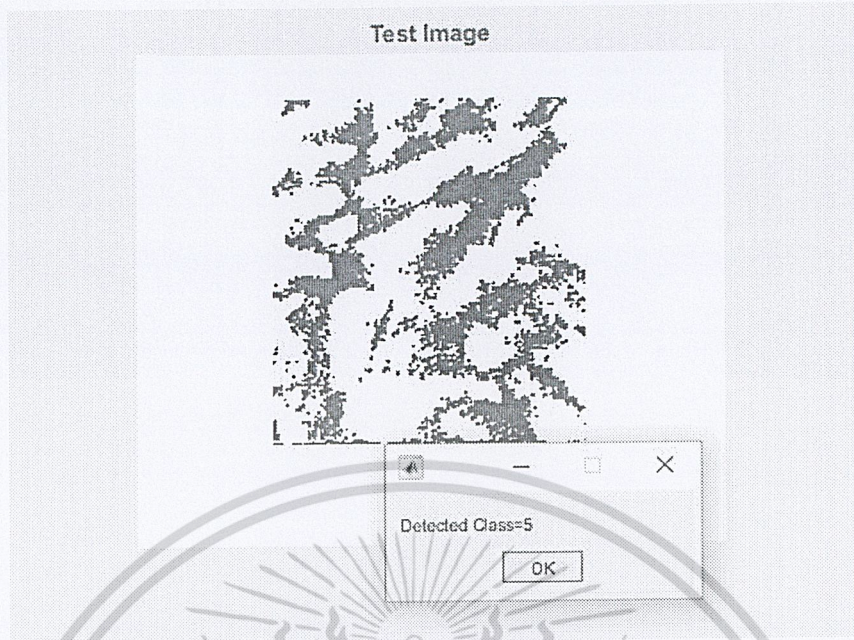


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 43

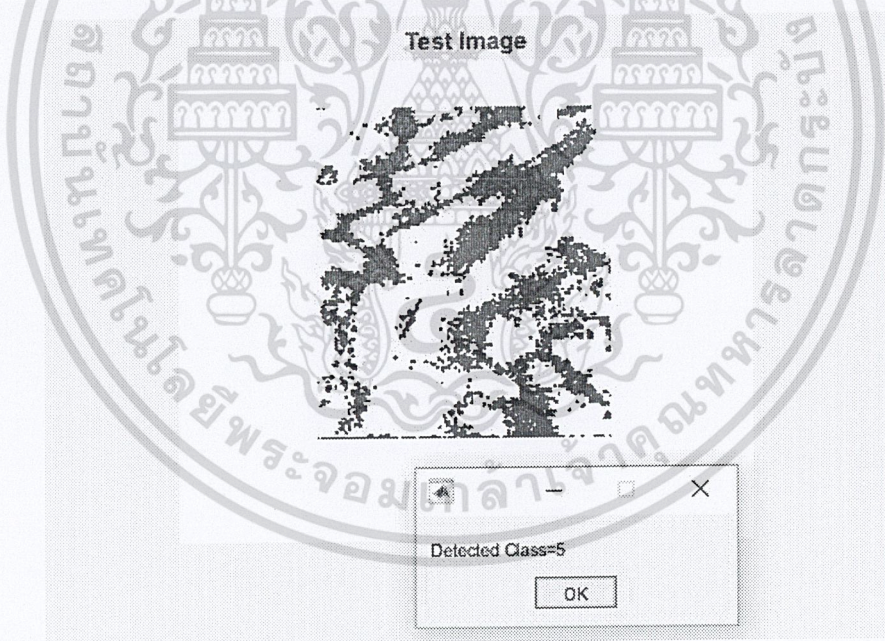


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

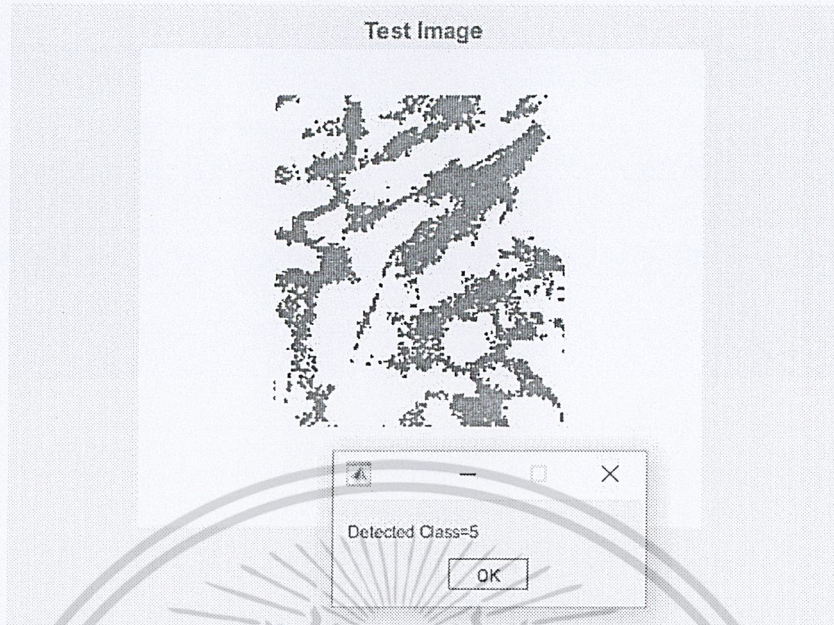


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 45

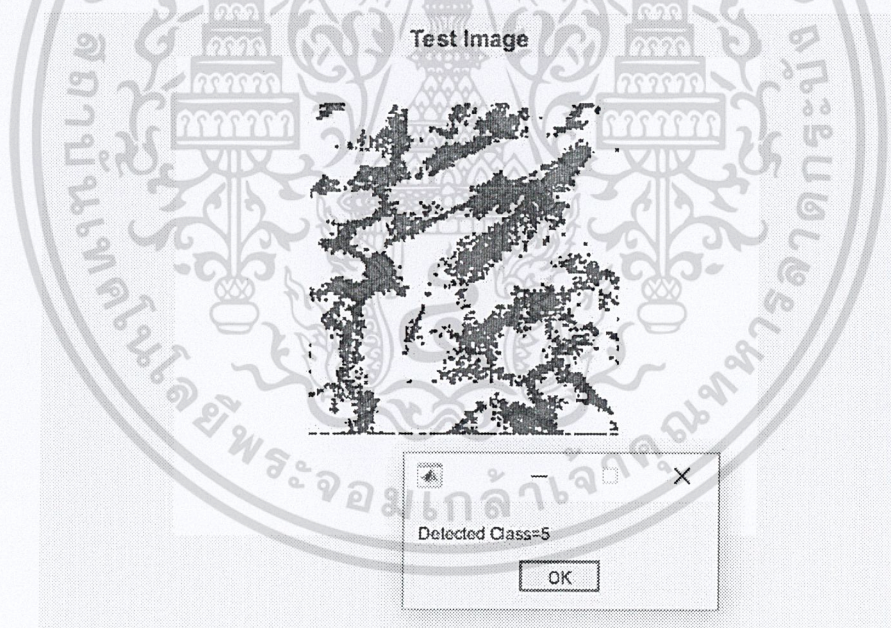


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

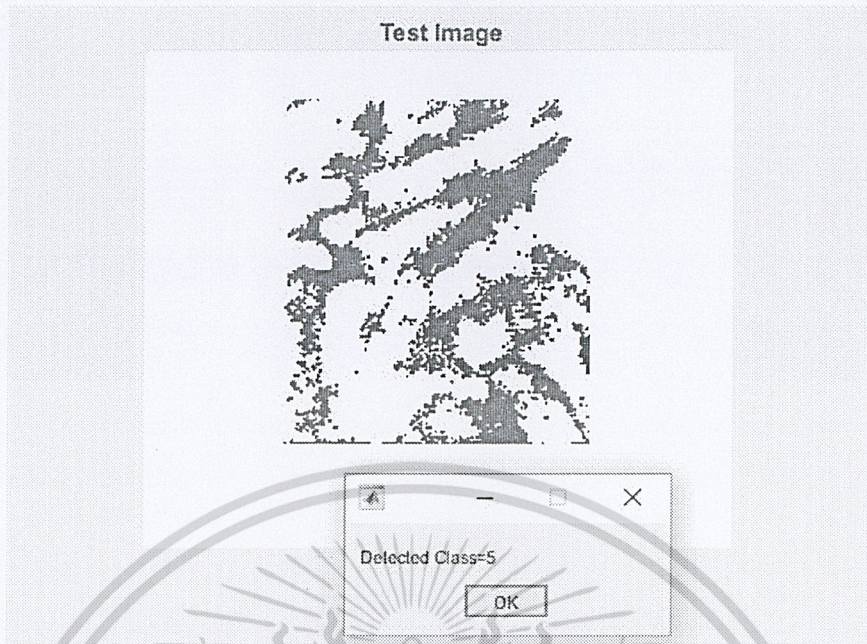


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 47

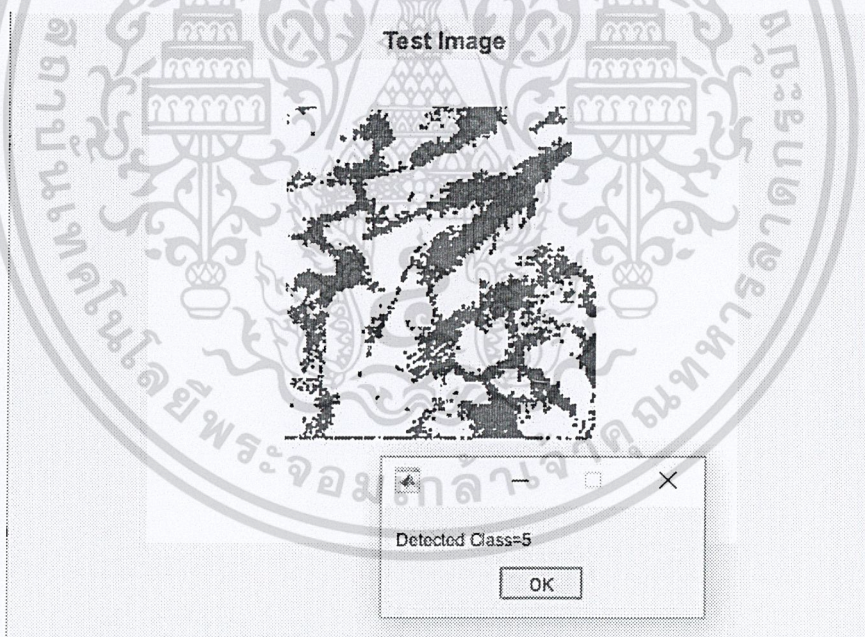


ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 49



ผลการทำนายผลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลประเมินความสามารถการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูล



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 1

ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 3

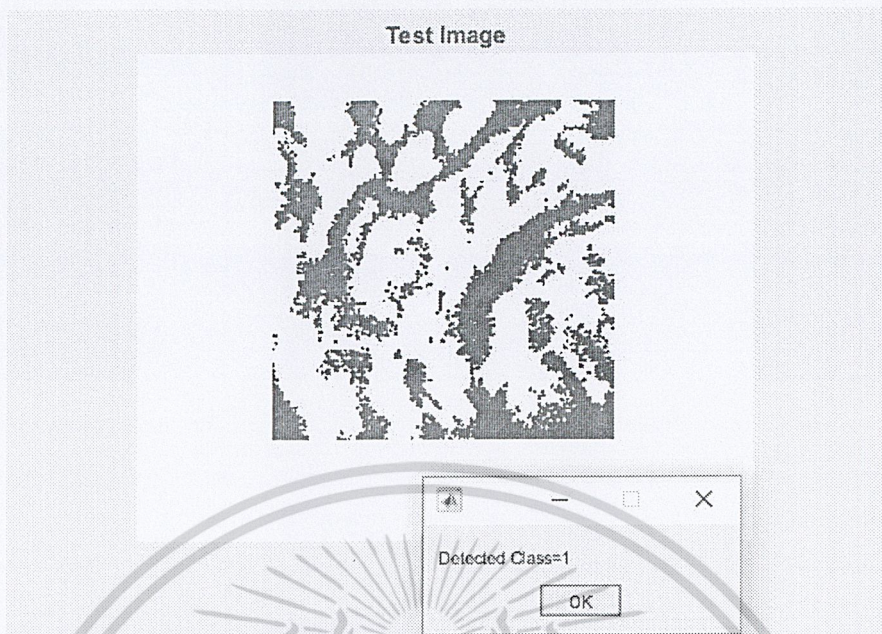
ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

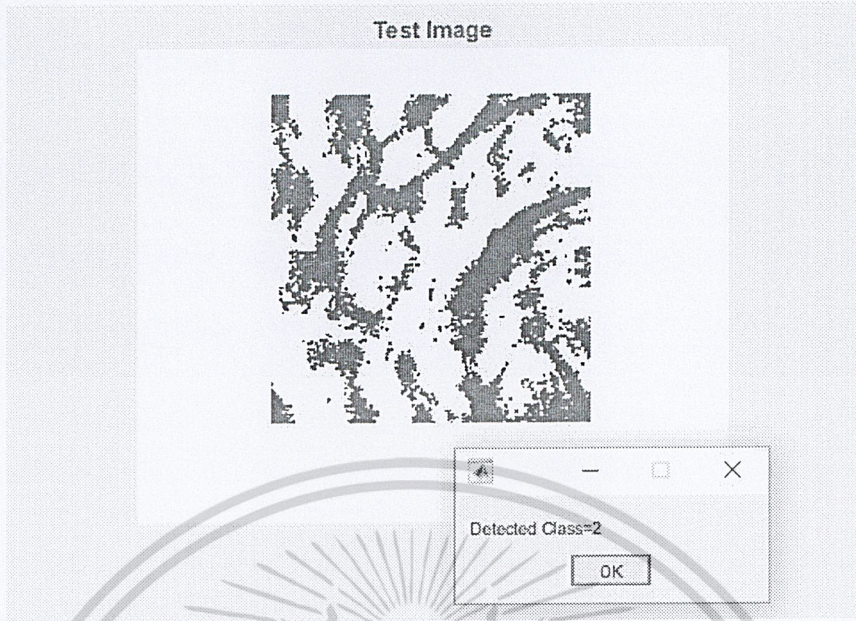


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 7

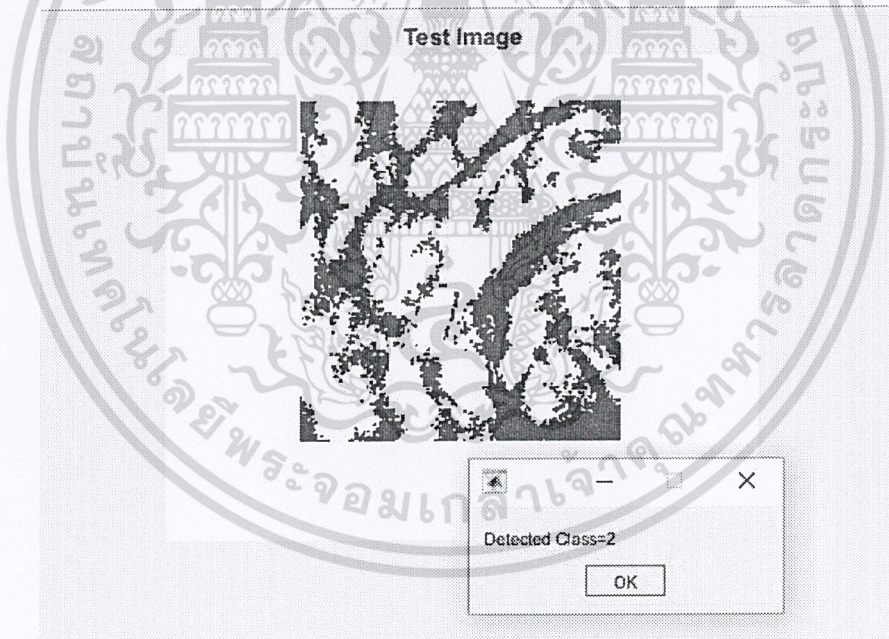


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

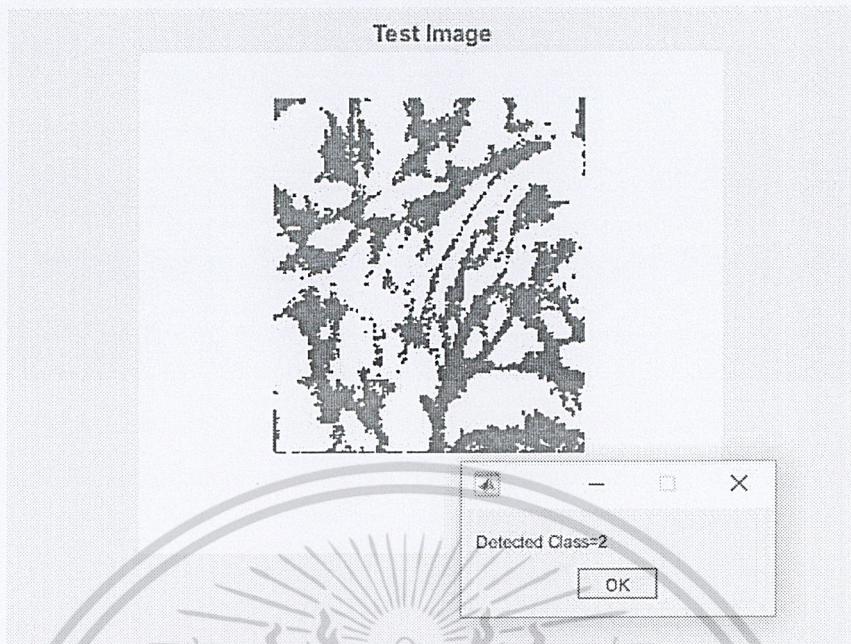


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 9

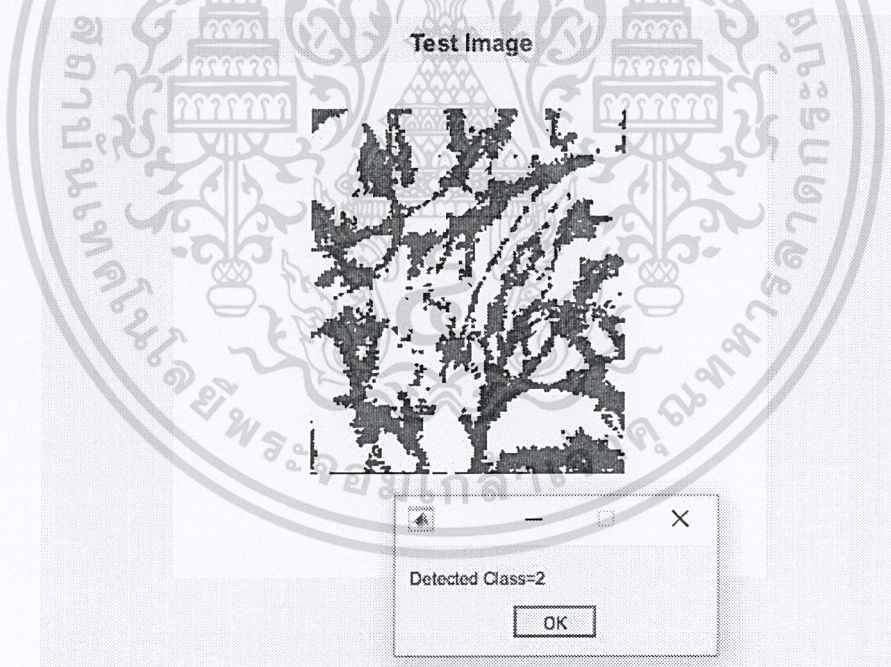


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

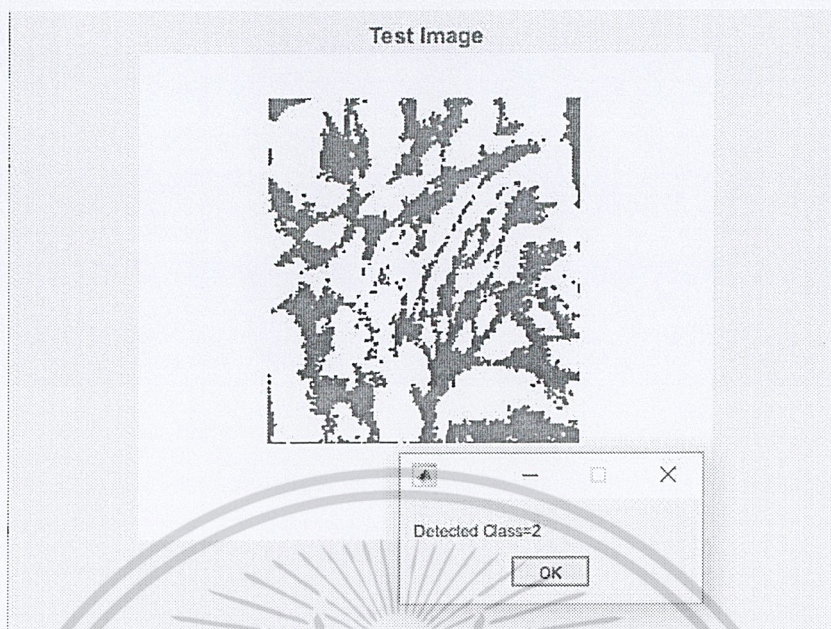


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 11



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

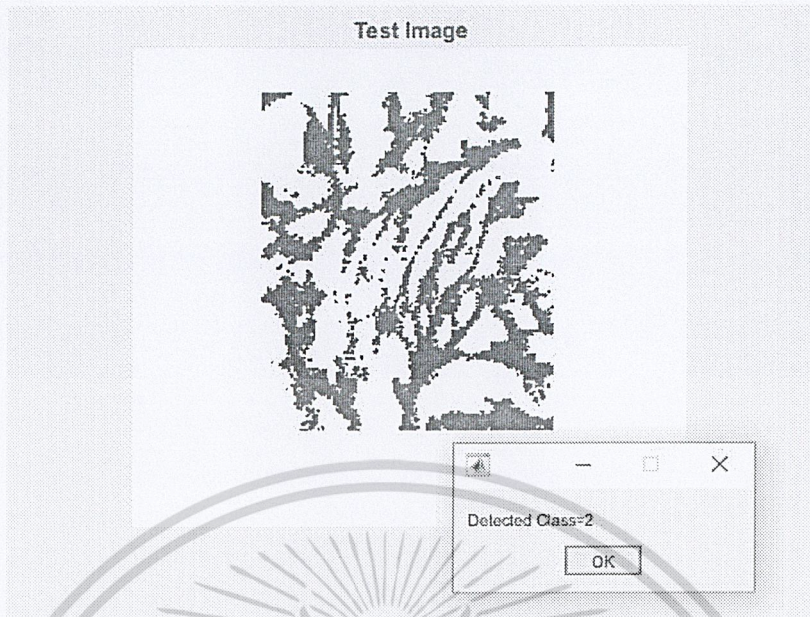


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 13



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

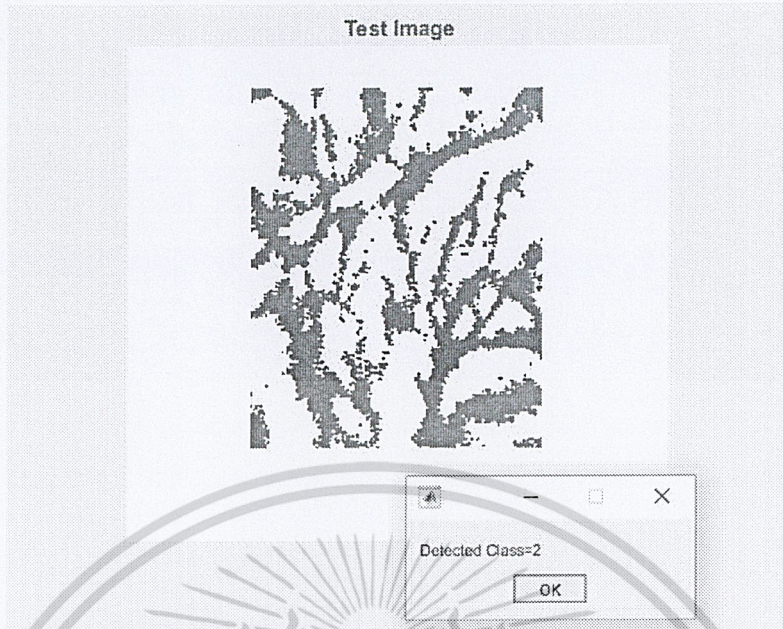


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 15



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

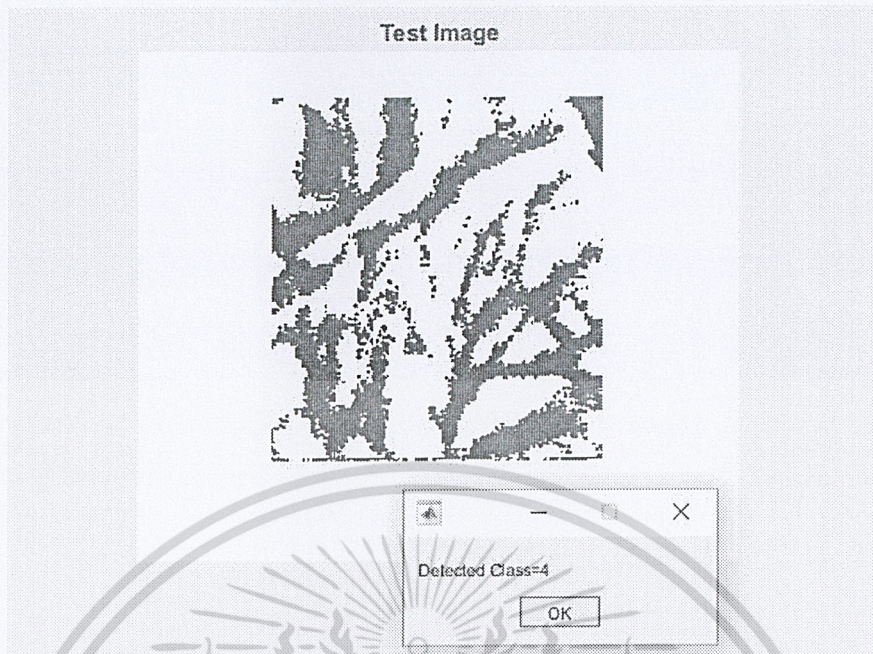


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 17

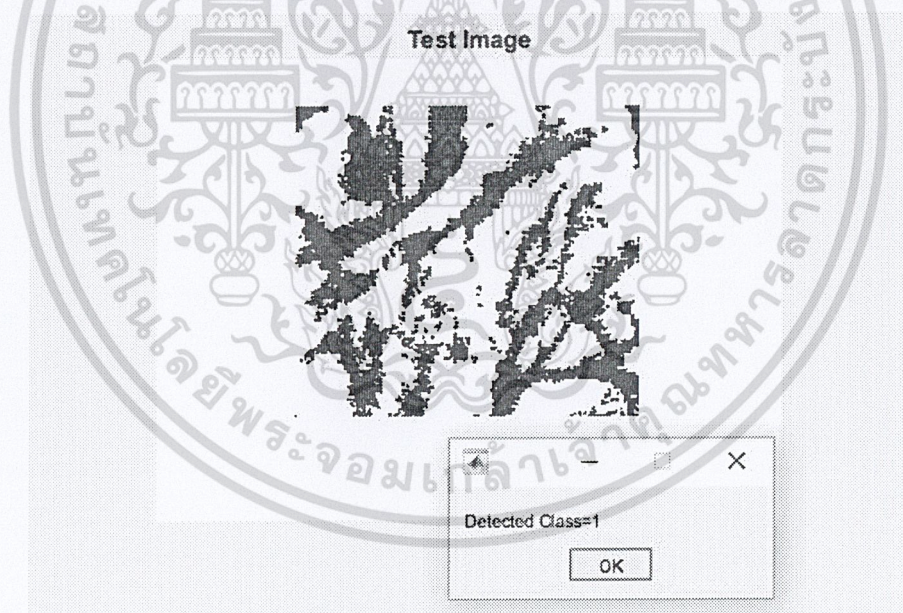


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 19



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

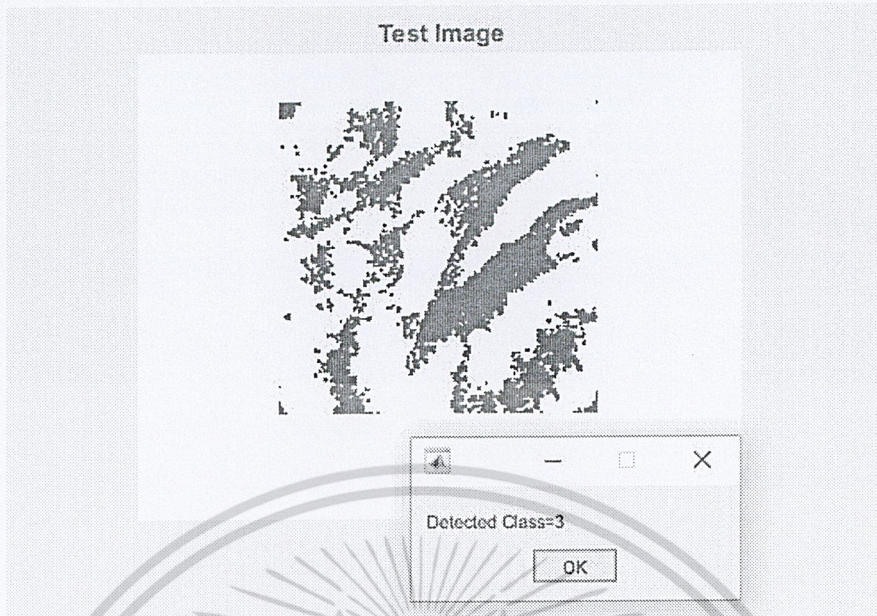


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 21

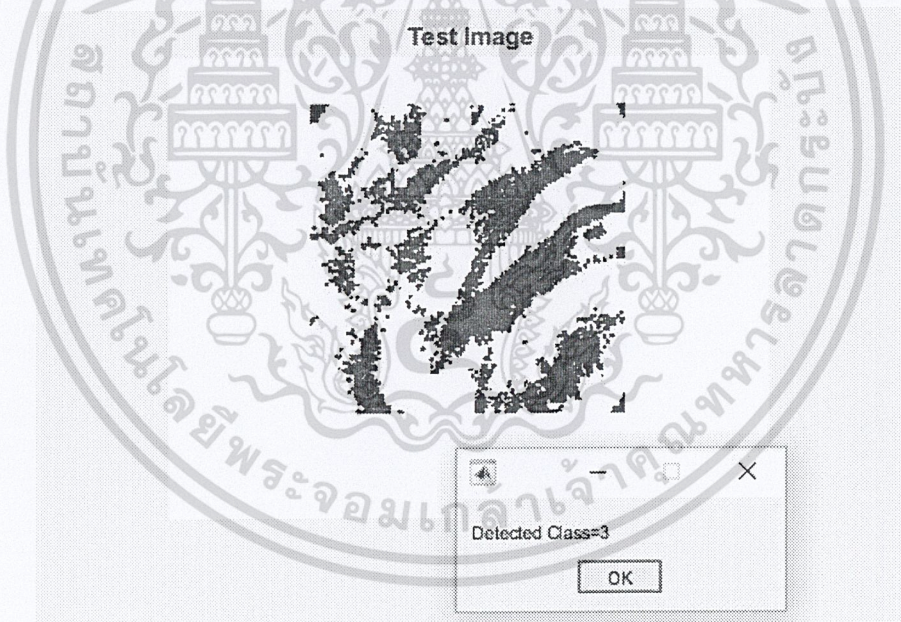


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

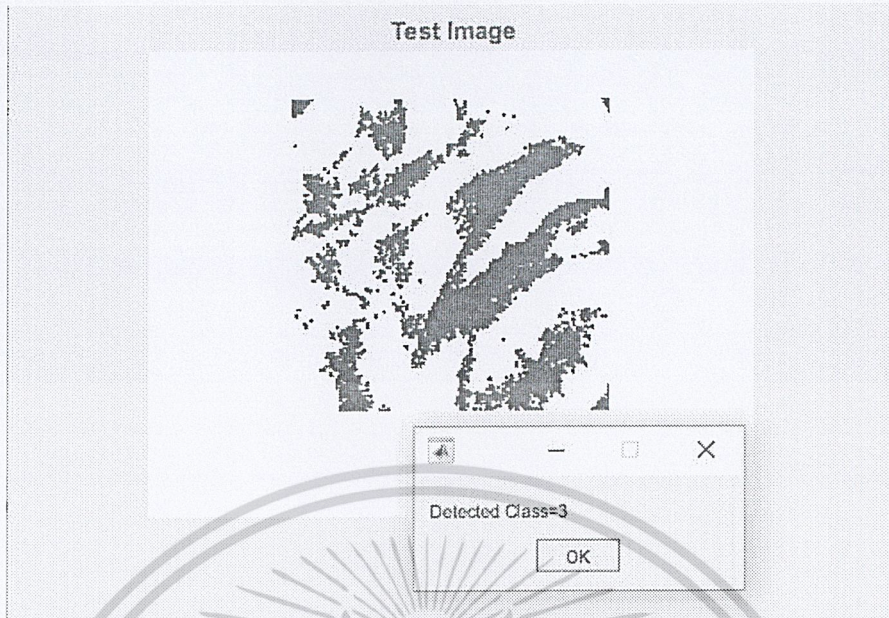


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 23



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

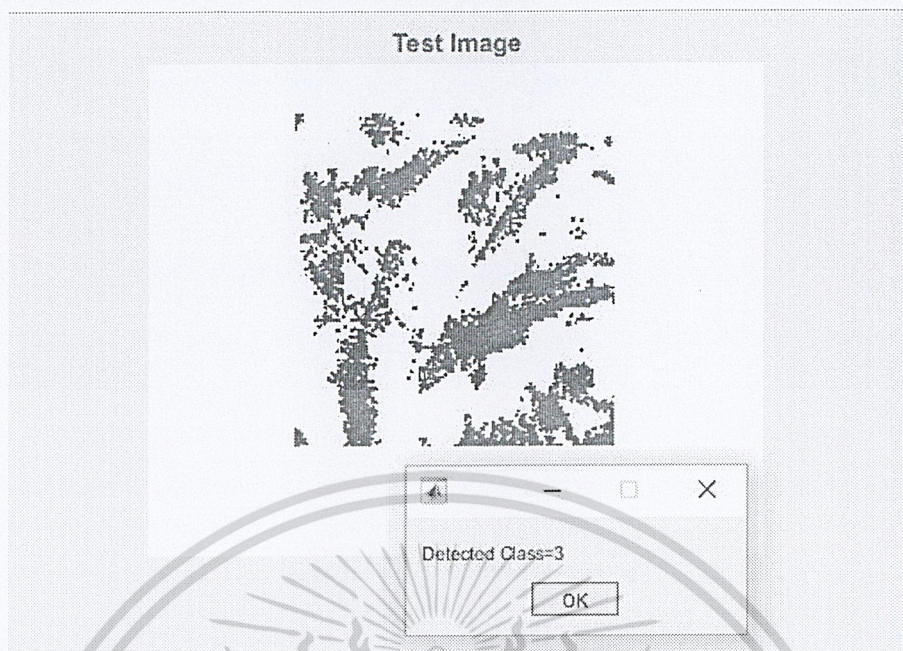


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 25

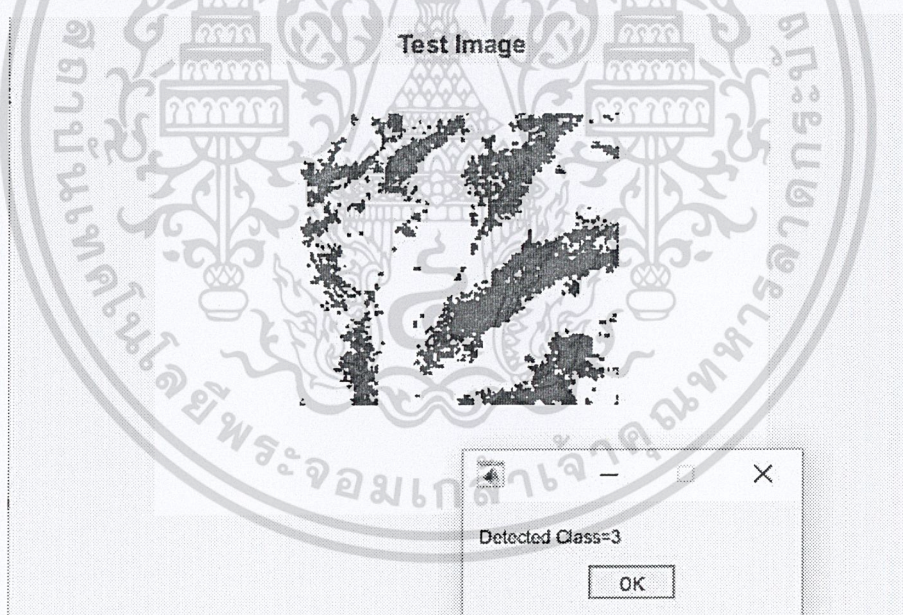


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

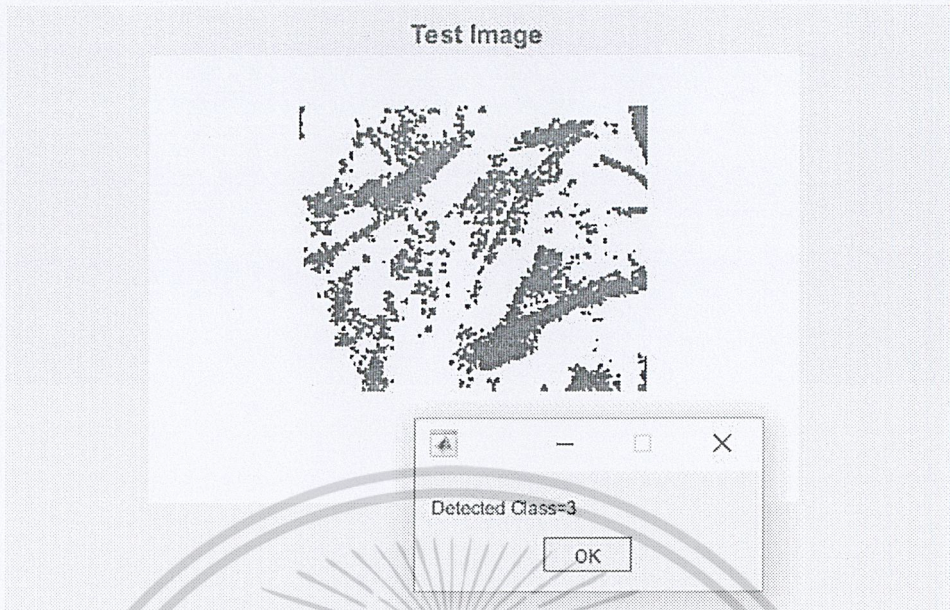


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 27

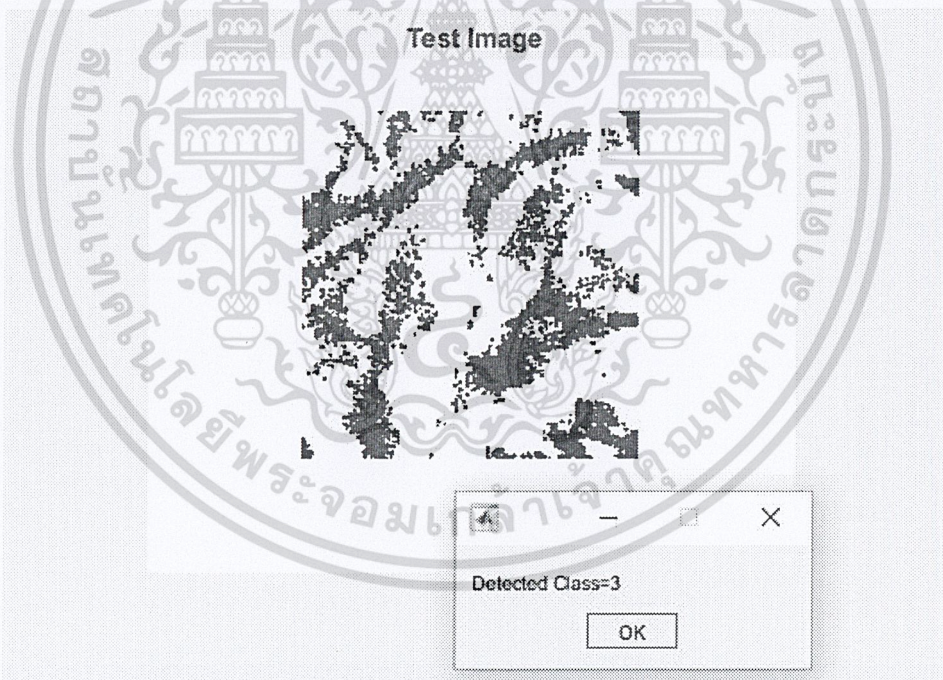


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

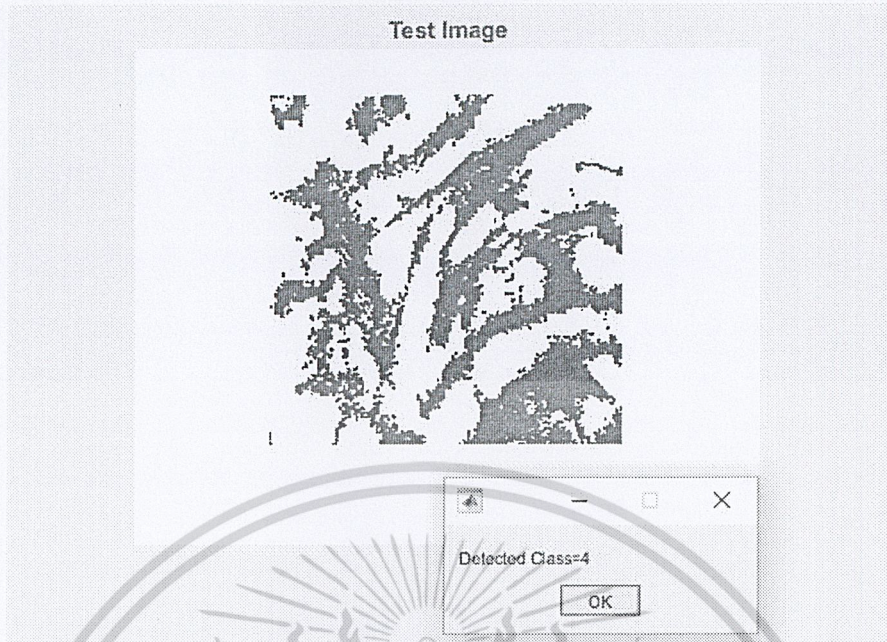


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 29

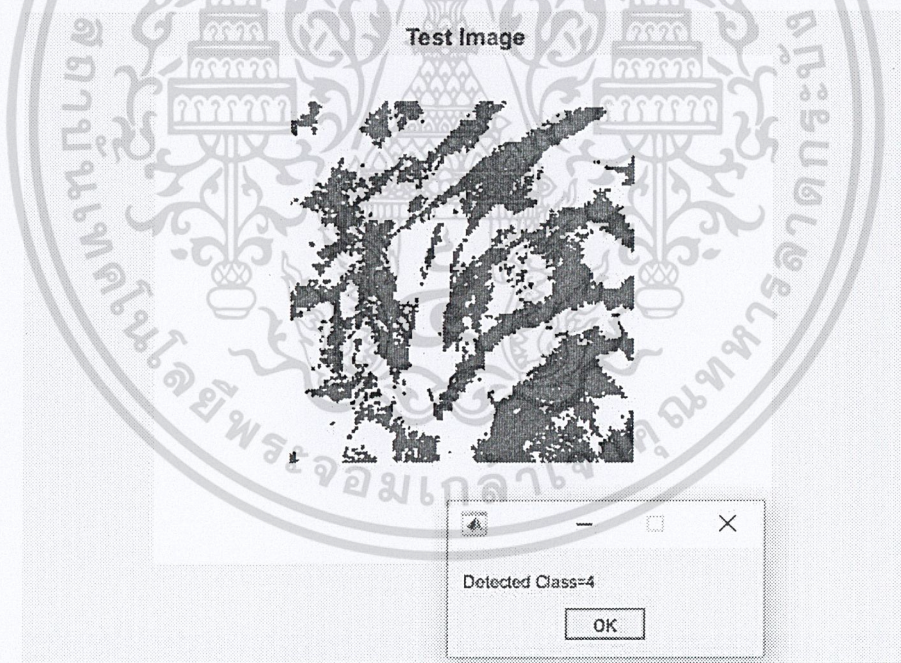


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 31

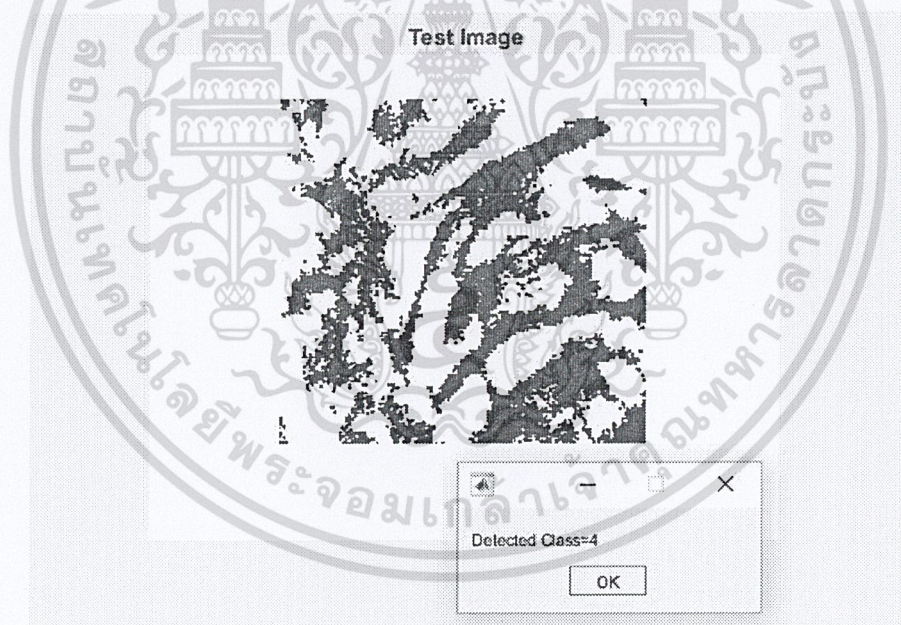


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 33



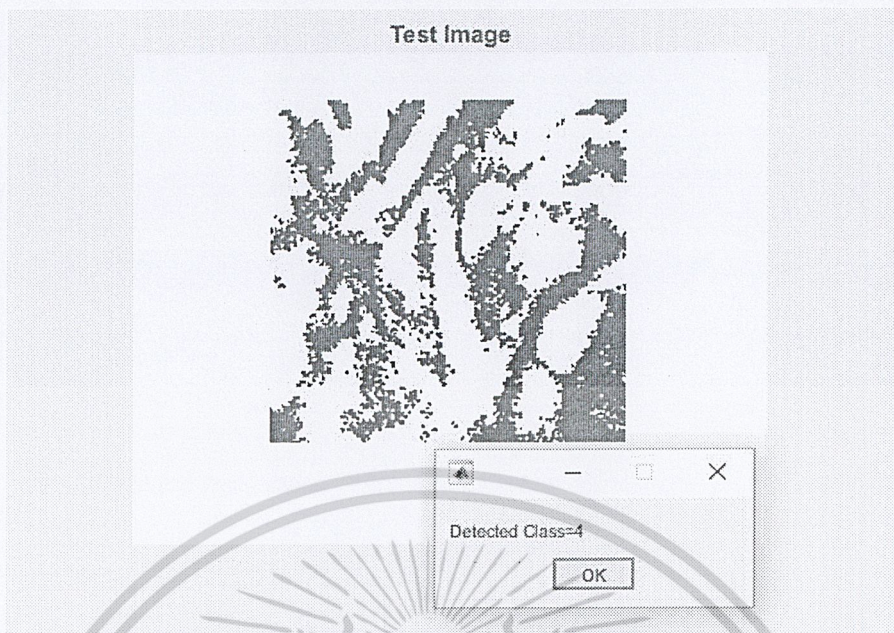
ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

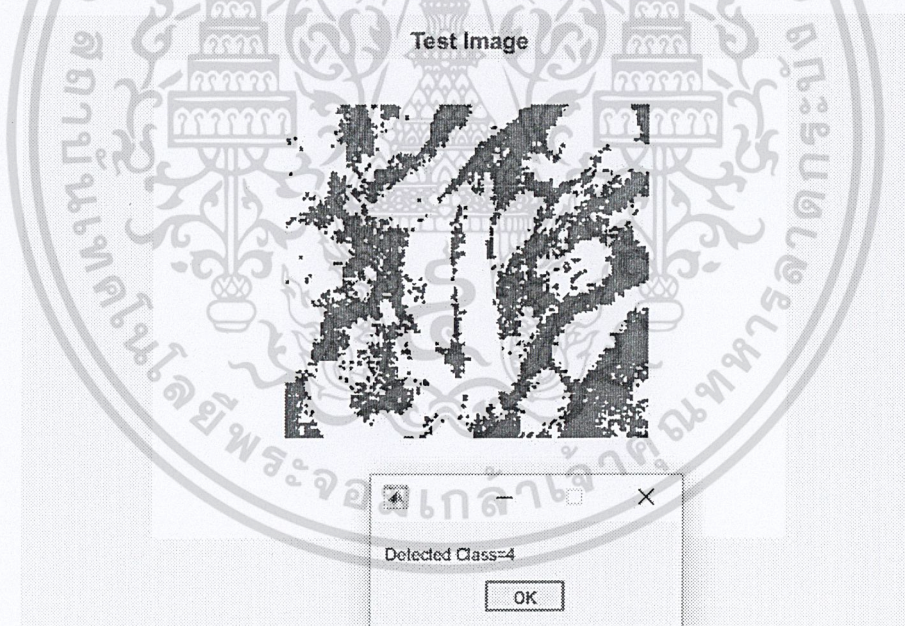


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

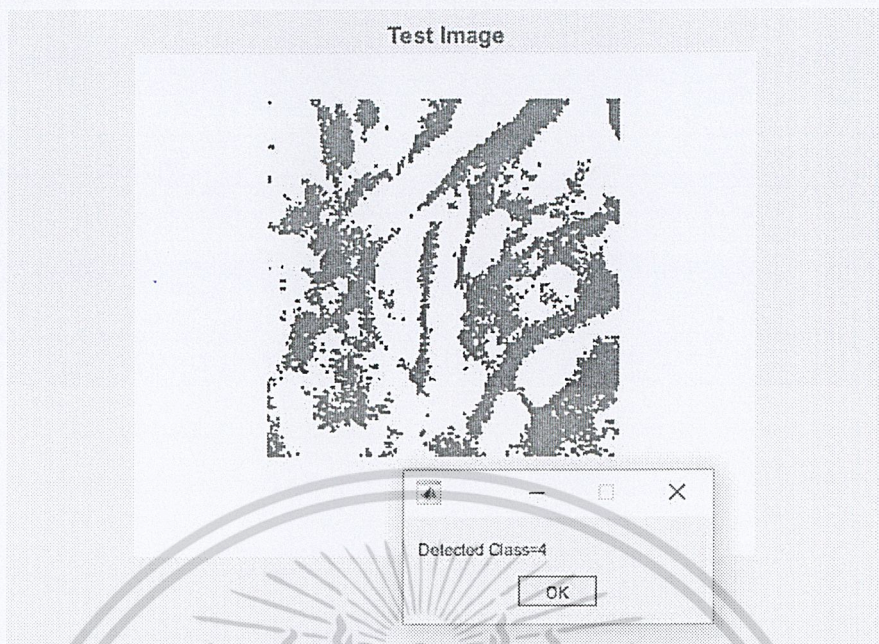


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 37

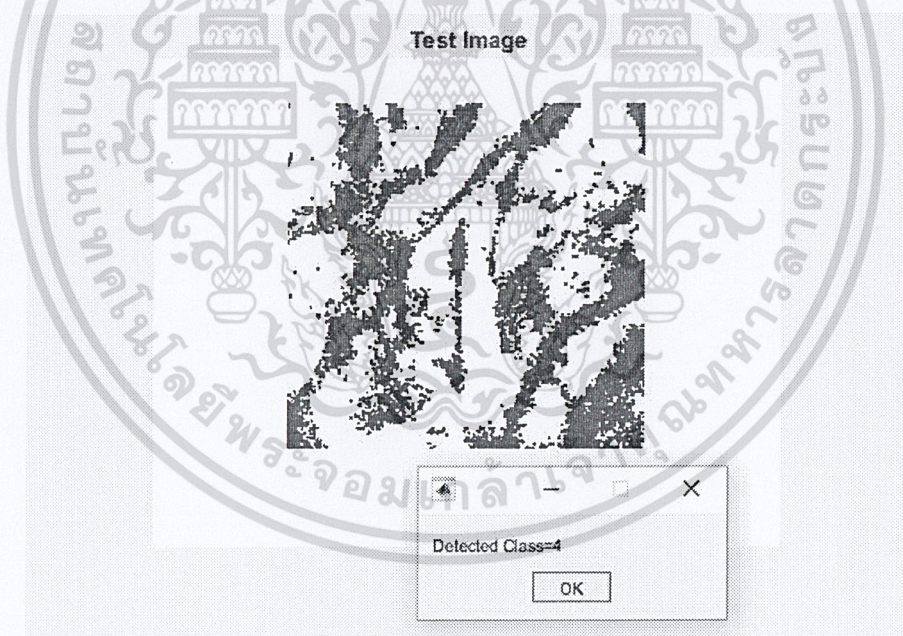


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

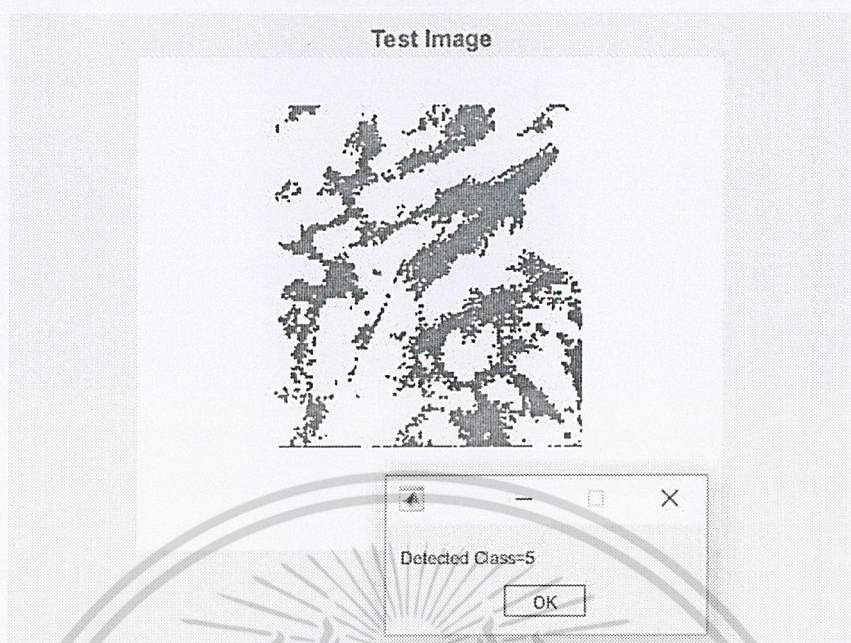


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 39

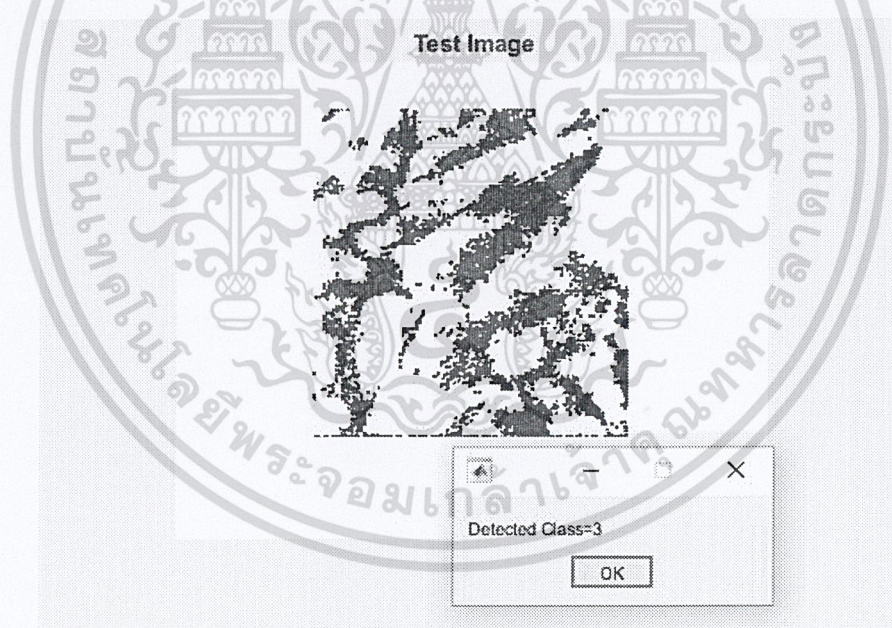


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

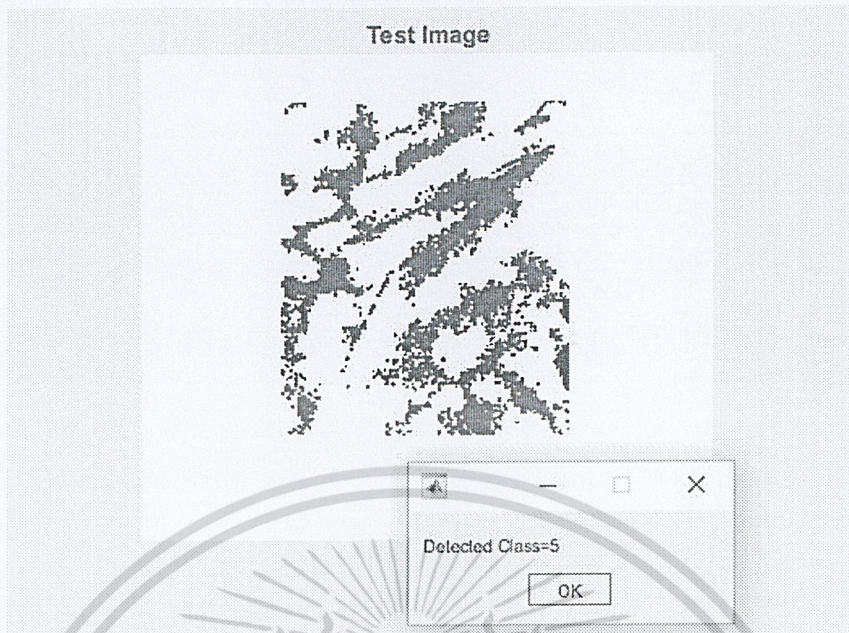


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 41

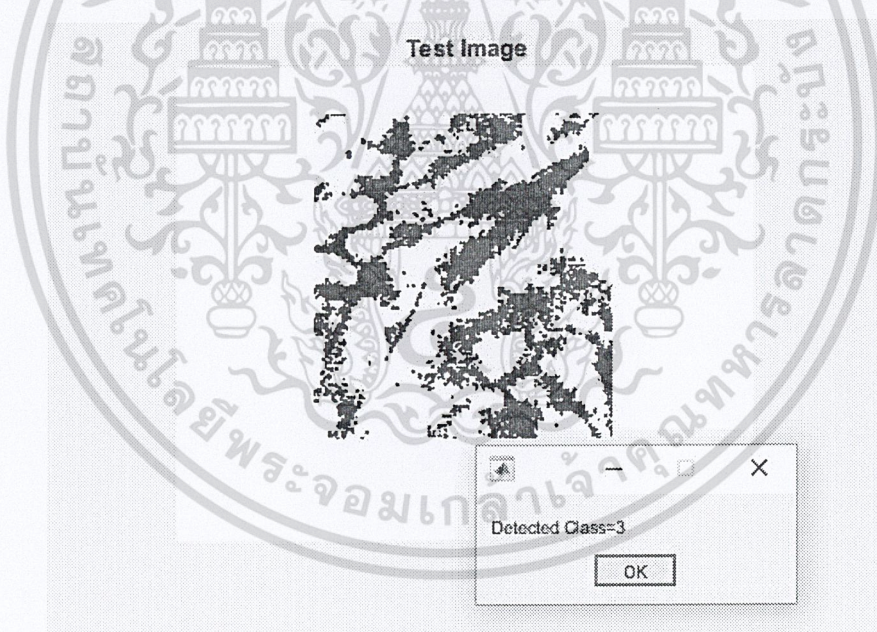


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

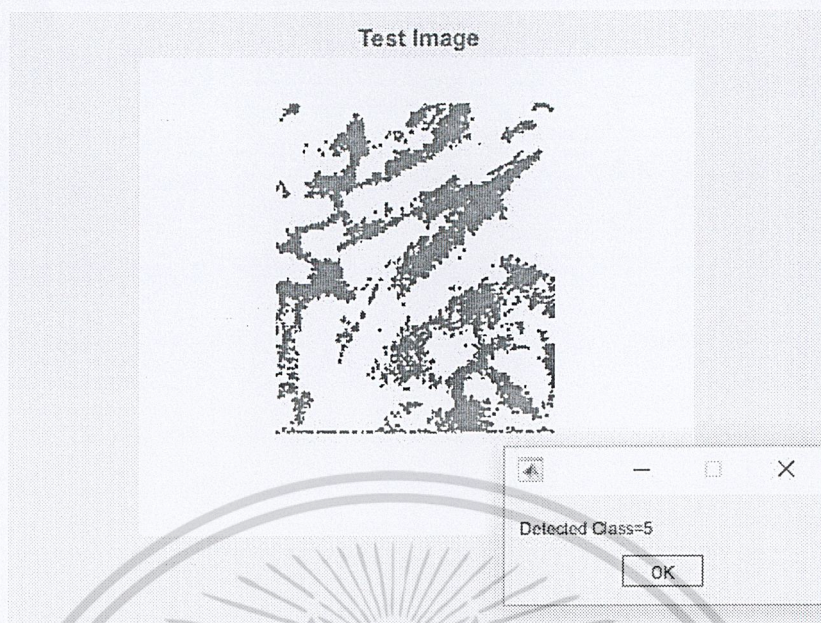


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 43

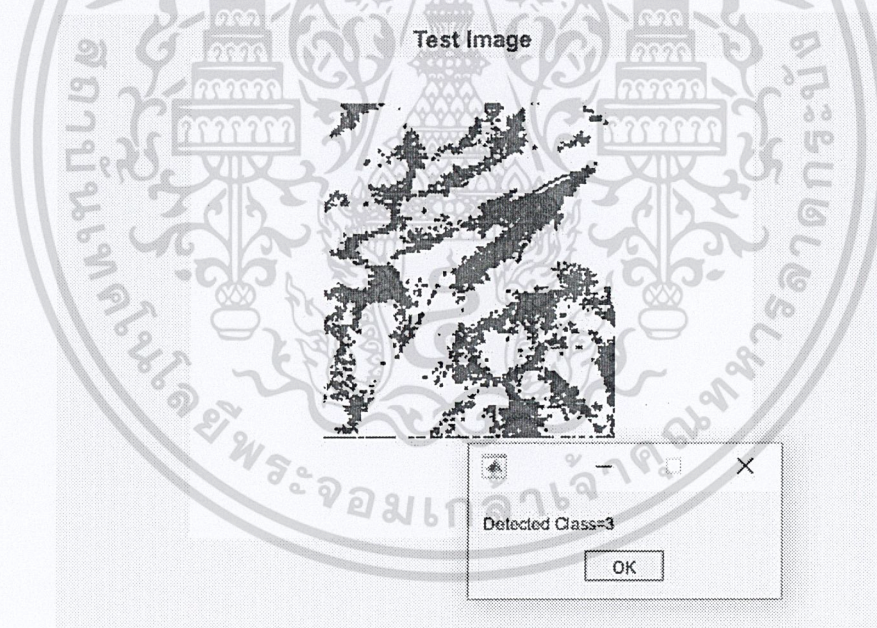


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

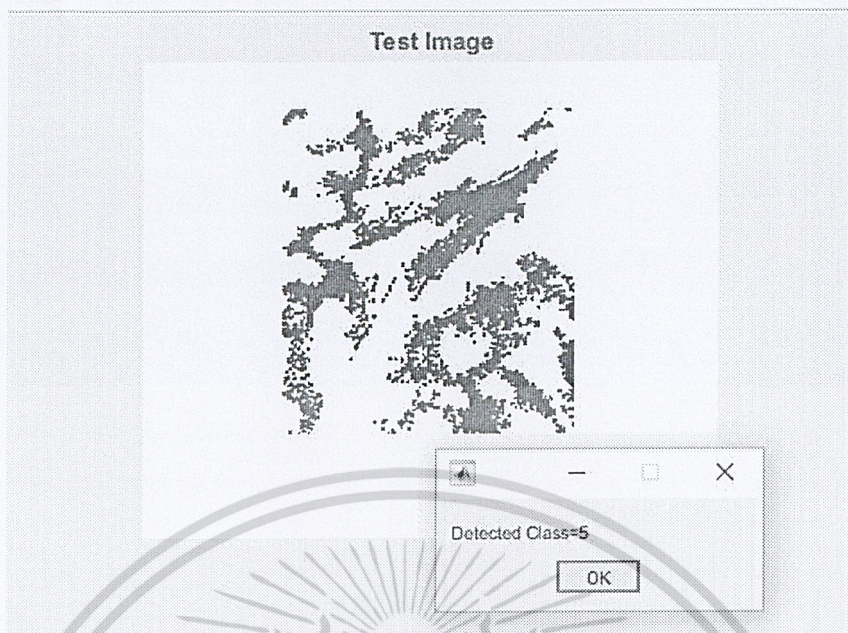


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 45

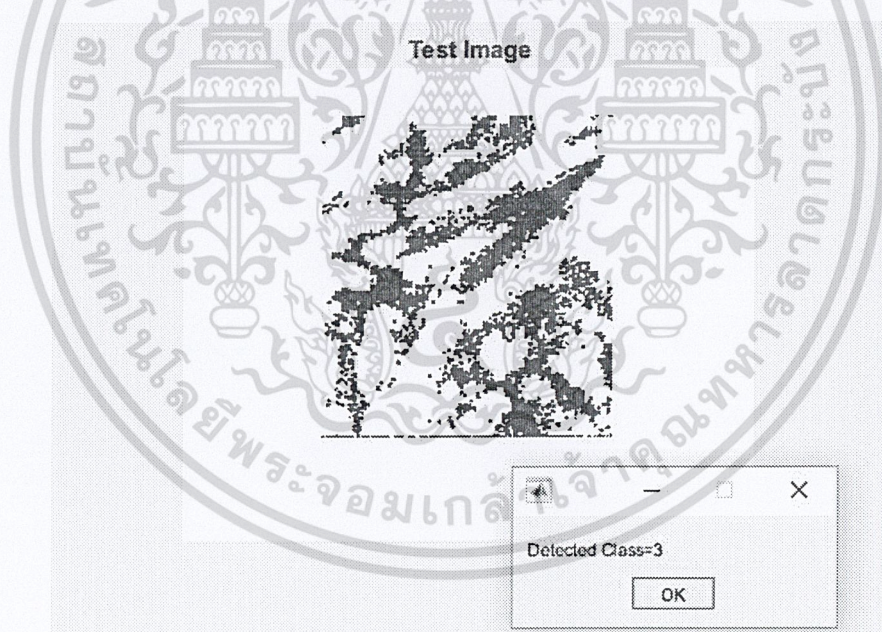


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

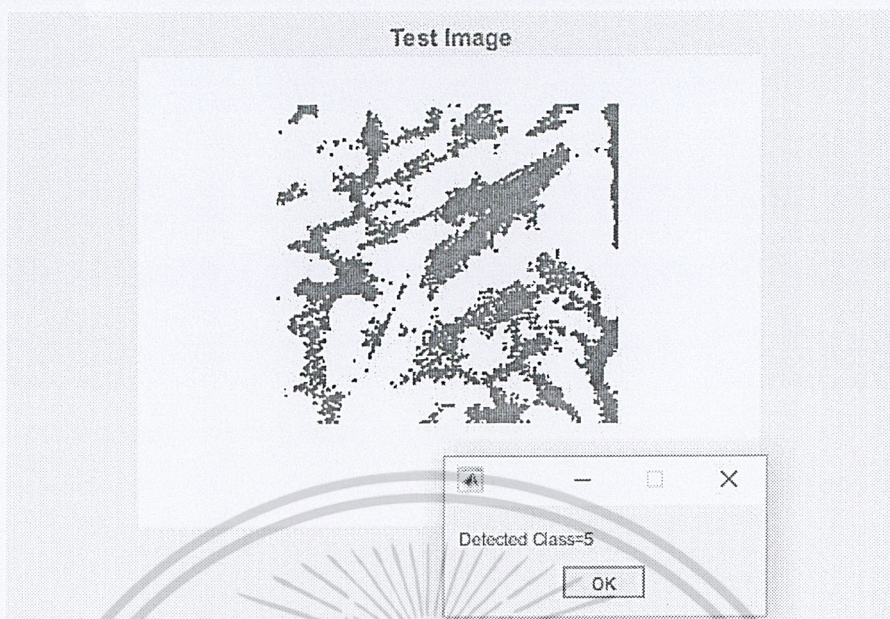


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 47

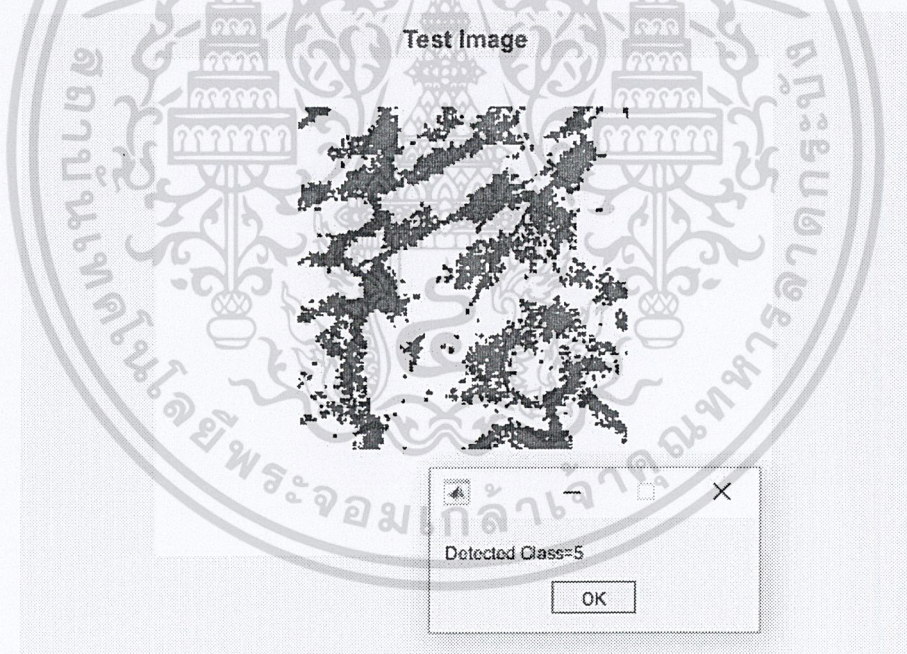


ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 49



ผลการทำนายผลของภาพที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลรูปที่ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้